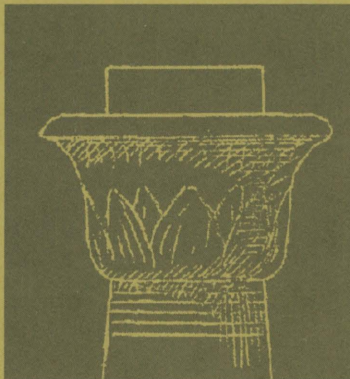
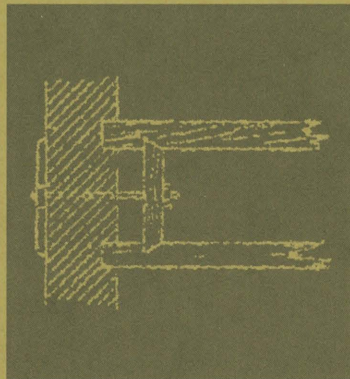
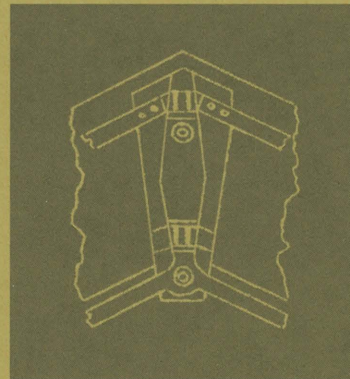
ENSEÑANDO A CONSTRUIR ARQUITECTURA

CUADERNO DE APUNTES DE LAS CLASES DEL
CATEDRÁTICO FEDERICO APARICI Y SORIANO
ESCUELA SUPERIOR DE ARQUITECTURA DE MADRID (PLAN DE ESTUDIOS 1896)

-edición facsímil-

INSTITUTO JUAN DE HERRERA * ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE ARQUITECTURA DE MADRID * U.P.M.

ENSEÑANDO A
CONSTRUIR ARQUITECTURA

CUADERNO DE APUNTES DE LAS CLASES DEL CATEDRÁTICO
FEDERICO APARICI Y SORIANO
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE ARQUITECTURA DE MADRID (PLAN de estudios 1896)
-edición facsímil-

Mª del Carmen Giménez Molina - Roser Martínez Ramos e Iruela

MADRID
MMXVII

INSTITUTO JUAN DE HERRERA * ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE ARQUITECTURA DE MADRID * U.P.M.

ISBN: 978-84-9728-559-9
Dep. Legal: M-9414-2017

Impreso en España

Impresión:
Imprenta Comercial Motril-Granada

AGRADECIMIENTOS

Nuestros agradecimientos a las siguientes personas sin cuya inestimable ayuda no hubiera sido posible la edición de este libro:
D. Fernando Vela Cossío.
D. César Bedoya Frutos.
D. Javier Piñar Samos.
D. José Miguel Reyes Mesa.

Archivos:
Archivo arquitecto José Felipe Giménez Lacal (Granada)
Archivo Miguel Gímenez Yanguas (Granada)

Maquetación y digitalización facsímil de los apuntes
Javier Mendoza Ladrón de Guevara

ÍNDICE

PRESENTACIÓN

Desde la creación misma de la Escuela Especial de Arquitectura en 1844 y, sobre todo, desde su transformación en Escuela Superior de Arquitectura de Madrid en 1857, las enseñanzas de alcance y naturaleza tecnológica han tenido una importancia decisiva en la formación de los arquitectos españoles.

La Escuela Técnica Superior de Arquitectura de la Universidad Politécnica de Madrid, fiel a esta tradición, ha mantenido esta clase de enseñanzas en todos sus planes de estudio hasta el momento actual, y ha conservado en los fondos de su biblioteca distintos materiales de gran interés que nos permiten un mejor conocimiento de los contenidos y de los métodos de las enseñanzas de carácter técnico a lo largo del tiempo.

Libros, dibujos o apuntes manuscritos constituyen un legado documental extraordinario que la Escuela protege con celo y difunde en la medida de sus posibilidades a través de colecciones como la de Fondo Antiguo de la Biblioteca o de ediciones en las que ha contado siempre con el respaldo y la colaboración del Instituto Juan de Herrera. Así, hace casi veinticinco años, en 1993, se dio a la imprenta la publicación facsímil del *Cuaderno de Apuntes de Construcción de Luis Moya*. Ahora, gracias a la labor de dos doctoras arquitectas, María del Carmen Giménez Molina, profesora en la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de la Universidad Politécnica de Madrid, y Roser Martínez Ramos e Iruela, profesora del Área de Construcciones Arquitectónicas en la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de la Universidad de Granada, ve la luz esta edición facsímil del cuaderno de apuntes de las clases de Federico Aparici y Soriano (1832-1917), quien ocupó la cátedra de Construcción Arquitectónica de esta Escuela hasta su jubilación en 1914.

El profesor Aparici, que fue director de la Escuela entre 1896 y 1914, forma parte de una generación decisiva en la Historia de la Arquitectura española. Titulado en 1855, es el autor de la Basílica de Covadonga (Asturias, 1877-1891), un edificio en el que puede reconocerse, como ha señalado Pedro Navascués, la influencia de E.E. Viollet-le-Duc, lo que le sitúa en el historicismo neogótico del siglo XIX.

Que este libro, titulado muy acertadamente *Enseñando a construir Arquitectura*, sirva para dar a conocer al público interesado, y muy especialmente a nuestros estudiantes, la importancia de estas enseñanzas tecnológicas en la formación de los arquitectos. En este sentido, quisiera agradecer a las responsables de esta interesante edición su firme compromiso con la docencia y la investigación en este campo del conocimiento, tan importante para mantener el reconocimiento social y el prestigio de nuestra profesión en medio de la incertidumbre y los grandes cambios que estamos viviendo en estos umbrales del siglo XXI.

Luis Maldonado, Director de la ETSAM

Madrid, febrero de 2017

Mª del Carmen Giménez Molina

Arquitecta por la Universidad de Granada (2004). Doctora Arquitecta, con mención europea, por la Universidad Politécnica de Madrid (2011), obteniendo el Premio a la mejor tesis doctoral en el área de la Propiedad Industrial e Intelectual en la Gestión de I+D+i, concedido por la Cátedra UPM-Clarke, Modet & Cº, por la tesis titulada: "Alternativas para la mejora de la eficiencia energética de los acristalamientos: los vidrios dinámicos", tutelada por el Profesor Dr. Benito Lauret Aguirregabiria.

Entre los múltiples cursos de especialización, destaca el Master de Calidad en la Construcción, de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de la Universidad Politécnica de Madrid.

Cuenta con diversas publicaciones, entre ellas, el libro "Eficiencia Energética de la envolvente de los edificios, su definición y cálculo", de la Editorial Arquia, editado por la Caja de Arquitectos.

Ha participado en diversos proyectos de investigación en el ámbito de la construcción sostenible y la eficiencia energética, con estancias de investigación en diversas universidades europeas.

Actualmente es Profesora Ayudante Doctor del Departamento de Construcción y Tecnología Arquitectónicas de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de la Universidad Politécnica de Madrid, impartiendo docencia en la asignatura de Proyectos de Instalaciones, Instalaciones y Servicios Técnicos, así como el Máster Universitario en Diseño de Instalaciones, entre otros.

Roser Martinez Ramos e Iruela

Licenciada en arquitectura por la Universidad de Sevilla, obteniendo la suficiencia investigadora en el programa de doctorado de Restauraciones Arquitectónicas y paisajísticas de la Universidad de Granada. Doctora por la Universidad de Granada con la calificación Cum Laude con la tesis titulada "Memoria de la construcción de la Gran Vía de Granada. Reconocimiento y caracterización de sus edificios", dirigida por la Dra. Carmen Rodríguez Liñán (US) y el Dr. Juan Domingo Santos (UGR). Sus principales líneas de investigación desarrollan de forma especializada la caracterización arquitectónica y constructiva en el contexto del diagnóstico y evaluación de patologías en construcción e intervención en edificación existente.

Actualmente desarrolla su actividad profesional en su despacho profesional, siendo además Profesora Asociada del Departamento de Construcciones Arquitectónicas de la Universidad de Granada desde 2008 hasta la actualidad, impartiendo docencia en Grado y Máster Habilitante de Arquitectura. Colabora como profesora invitada por el Departamento de Arquitectura de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de la Universidad Internacional de Cataluña y ha sido profesora participante en el XXX y XXXI Ciclo del Dottorato di Ricerca in Architettura e Territorio de la Università degli studi di Reggio Calabria.

ENSEÑANDO A CONSTRUIR ARQUITECTURA.
APUNTES y ELEMENTOS FUNDAMENTALES DE CONSTRUCCIÓN.
ESCUELA SUPERIOR DE ARQUITECTURA DE MADRID (PLAN DE 1896)
-edición facsímil-

1. EL ARCHIVO, LA BIBLIOTECA Y EL AULA

"Toda colección es el reflejo de una vida. Conviven en ella los lejanos recuerdos de las experiencias infantiles, los rastros del lento y arduo aprendizaje de la profesión, herencias y patrimonios familiares. Cuesta una vida reunirla y son muchas las vidas que acaban reflejándose en sus propios contenidos, ya sea porque mantienen la memoria de personas y actividades pretéritas, ya porque contribuirán en el futuro a alimentar el conocimiento de los que vendrán. Al mismo tiempo, toda colección es un monumento a la curiosidad y al deseo de conocer y comunicar. Iniciarla y mantenerla es un ejercicio de constancia y paciencia – a sabiendas de que nunca acabará de estar completa- y un ejemplo de generosidad pública cuando trasciende la mera posesión para convertirse en una acción consciente de preservación y difusión de aquellas ideas y artefactos que antaño tuvieron sentido y utilidad y hoy son –nada más y nada menos- que vestigios de la memoria del tiempo".

(Piñar Samos, Javier (com.), & Giménez Molina, Carmen (com.), 2015)[1].

Tales palabras fueron dedicadas a la figura del insigne ingeniero y profesor granadino Miguel Giménez Yanguas en la inauguración de la exposición "El poder del ingenio", estrenada el 12 de marzo de 2015 en la sala de exposiciones de la sede de Caja Granada. En su presentación se destacó la labor de preservación y cuidado de un vasto patrimonio cultural y científico constituido por su excepcional archivo/biblioteca. Procedente tanto de la tradición familiar como de sus búsquedas incesantes, Giménez Yanguas es propietario de un archivo muy peculiar, en el que conservan utensilios de trabajo, material gráfico y bibliografía de sus antecesores[2] los cuales desempeñaron un papel relevante en la construcción de la Granada contemporánea, destacándose por obras como el proyecto y edificación de la Gran Vía de Colón y el Carmen de Rodríguez Acosta. Como reconoce Calatrava en el capítulo dedicado a tal colección en el catálogo de la mencionada exposición, este archivo constituye un verdadero semillero de rarezas en el que es posible rastrear la complejidad con la que a lo largo de los dos últimos siglos se han ido configurando las profesiones ligadas al arte de construir; desde el arquitecto o el ingeniero al maestro de obras o el fabricante y comerciante de materiales de construcción. La ubicación de estas materias en el contexto de la formación del arquitecto es, desde el plano conceptual, tan compleja como necesaria. Gracias al papel de mecenas, que generosamente asume Giménez Yanguas, nos encontramos con la posibilidad de divulgar uno de los primeros apuntes de Construcción que se conservan editados y que se considera fueron dictados por el entonces Catedrático de la asignatura de Construcción y posteriormente director de la Escuela de Arquitectura de Madrid, Federico Aparici y Soriano. Con la oportunidad de trasladar desde el archivo a las bibliotecas y, por qué no, a las aulas, este singular documento, consideramos la extraordinaria ocasión de descubrir un contenido y una sistematización de conocimientos sobre la disciplina de la construcción con los que se formaba a los arquitectos a finales del siglo XIX y principios del XX. De su lectura se deducen caracterizaciones constructivas que han de permitir al estudioso o técnico interviniente, en el patrimonio edificatorio protegido y no protegido de este período, contar con información de gran interés para una actuación intencional futura que trascienda a las determinaciones legales y de protección que regulan la intervención sobre el patrimonio inmueble que siempre ha de ser objeto de estudio.

1 Presentación de Javier Piñar Samos (com) en el catálogo de la exposición celebrada en Granada titulada *El poder del ingenio*. Granada, 2015.

2 Los arquitectos Francisco Giménez Arévalo y José Felipe Giménez Lacal, padre y tío respectivamente del ingeniero Miguel Giménez Yanguas.

2. *APRENDIENDO A SER ARQUITECTOS*. PLAN DE ESTUDIOS DE LA ESCUELA SUPERIOR DE ARQUITECTURA DE 1896 BAJO LA DIRECCIÓN DEL CATEDRÁTICO DE CONSTRUCCIÓN FEDERICO APARICI Y SORIANO

El 15 de mayo de 1918 surge en Madrid la revista de publicación quincenal *Arquitectura*, editada por el Órgano Oficial de la Sociedad Central de Arquitectos y dedicada, exclusivamente, al ámbito arquitectónico. En el texto inicial denuncia la ignorada y aislada labor del arquitecto que desarrolla su trabajo ajeno al de sus compañeros dentro de un contexto social que carece en general de sentido crítico para juzgar la Arquitectura. Además se alude a la necesidad de formar una conciencia arquitectónica en el público mediante la divulgación de las obras más notables construidas, reflejo del movimiento arquitectónico en el país de aquel momento. Entre la relación de artículos que se publican en la primera edición de esta revista, se incluye el redactado por el arquitecto y miembro académico de Bellas Artes de San Fernando, Manuel Zabala y Gallardo, en homenaje al arquitecto y catedrático de la Escuela Superior de Arquitectura de Madrid Federico Aparici y Soriano. En él se relata la biografía de tan reconocido arquitecto y se deja constancia de su intensa vocación docente.

Federico Aparici nació en Valencia el 30 de noviembre de 1832 y murió en Madrid el 30 de noviembre de 1917. Fue alumno sobresaliente de Bachillerato, adquiriendo el Título de Honor. La misma calificación obtendría en todas las asignaturas de la enseñanza preparatoria para los estudios de la Escuela de Arquitectura y en casi todas las de la Enseñanza Especial. Finalizó la carrera en marzo de 1855 y fue nombrado pocos meses después, con carácter interino, catedrático de la asignatura "Construcciones Civiles" en el Real Instituto Industrial. En 1867 fue nombrado Catedrático supernumerario de la Escuela Superior de Arquitectura con destino a la clase de Topografía. En 1873, al ser suprimidas las plazas de supernumerarios, se le adjudica la ayudantía de las clases prácticas de la asignatura. Dos años después obtuvo mediante concurso la Cátedra de "Aplicaciones gráficas de la Teoría del Arte", la cual permutó por la asignatura "Aplicación de los materiales a la decoración y construcción", denominada más adelante, por iniciativa de este mismo profesor, "Construcción Arquitectónica". En ella desempeñaría su docencia hasta la fecha de su jubilación en 1914.

Comenzó su ejercicio profesional un año antes de finalizar la carrera, cuando ganó un concurso para la construcción de un monumento a Mendizábal, Argüelles y Calatrava. Entre sus proyectos más destacados se encuentra la Iglesia de Santa Cruz, el Convento de las Salesas Reales en la madrileña calle de Santa Engracia, la Colegiata de Covadonga frente a la que construyó la casa canonical-, un hospital en Las Piqueñas (Carabanchel), un asilo de ancianos Rojas en la c/Fdez. de la Hoz y numerosos edificios particulares en Madrid. (Navascues Palacio, 1973).

Pero es en la enseñanza dónde ejerció su acción principal y de verdadera trascendencia, dando a conocer muy pronto sus dotes de maestro. Con tan sólo dieciocho años fue nombrado profesor sustituto de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Valencia impartiendo docencia, en ausencia del catedrático, en la asignatura de Matemáticas. Tras esa experiencia, continuó su magisterio durante sesenta años, de los que cuarenta y ocho los dedicó a la enseñanza de la Arquitectura y de ellos treinta y nueve a la clase de "Construcción" en la Escuela de Madrid. En esta institución se encargó de organizar una asignatura de gran dificultad por la multitud de elementos afines que este arquitecto consideraba que integraban el concepto del arte de la arquitectura y la necesidad de deslindar las materias en cada una de las clases. Aparici consideraba peligroso encasillar la acción de la construcción en los límites de una doctrina de exclusiva aplicación científica, por lo que defendió la docencia de la construcción estableciendo las bases de una asignatura orientada a la "Construcción Arquitectónica", tal y como debía ser, según su criterio, en una Escuela de Arquitectura. Se destacó así, más que como un hombre de

ciencias, como un arquitecto que vivió íntimamente la arquitectura, sintiendo el "Bello Arte de la Construcción". Este sentimiento sería el que dirigiera esencialmente su enseñanza científica. Así pudo emprender y desarrollar su curso de construcción, sabiendo en todo momento qué había de enseñar para construir arquitectura. Según palabras de Zabala (1918, p.10) "Todos ó casi todos los arquitectos actuales hemos pasado por su cátedra y conocemos el programa de su curso. En la segunda parte "Estructuras" estaba principalmente la especialización de una enseñanza adecuada á su verdadero objeto y completa en su desarrollo; comprobaba y afirmaba sus teorías con el análisis de los edificios desde el punto de vista constructivo, según el género de estructura propio de cada época".

De este modo, el maestro hacía penetrar al discípulo en la intimidad de la disciplina edificatoria, estimulándolo hacia el interés por los ejemplos del arte de la arquitectura y preparando al futuro arquitecto fundamentalmente para las funciones de su ejercicio profesional como conservador y restaurador de monumentos históricos.

Gran aficionado al estudio y conocedor de varios idiomas, pese a sus extraordinarias aptitudes docentes, no dejó escrito ningún libro -según Zabala- en el que quedase reunida toda su sabiduría. No obstante, contrastando el contenido del manuscrito objeto de esta edición con el plan de estudios en vigor en el período en el que Aparici ostentaba el cargo de Director de la Escuela -1896/1914- coincidente con la fecha de inicio de los estudios del arquitecto y propietario de los apuntes, José Felipe Giménez Lacal, en la Escuela Superior de Arquitectura de Madrid, hemos identificado la correspondencia de contenido de éstos con los que eran objeto de desarrollo en la asignatura "Construcción Arquitectónica". De hecho, también según Zabala, Aparici se dedicó continuamente a reunir datos, definiciones y detalles que podrían constituir una especie de "tecnología arquitectónica muy minuciosa y redactada en forma de papeletas ordenadas en forma de fichero" (1918, p.12). Entre los papeles del maestro se encontraron apuntes, notas, estudios, figuras y referencias de libros, todo ello relativo a su cátedra y que sus familiares probablemente ofrecieron a la Escuela de Arquitectura en donación.

3. LA DISCIPLINA DEL "ARTE DE LA CONSTRUCCIÓN": CONTEXTO DEL DOCENTE.

Los profesores directores de Arquitectura debían explicar "a sus discípulos la Geometría y Aritmética necesarias para la Arquitectura y este misma Arte, instruyéndolos muy por menor de sus reglas teóricas y prácticas, haciendo que estudien y tomen memoria de los libros más bien recibidos de estas facultades lo crean oportuno para ilustrarlos"[3].

El arquitecto Federico Aparici contaba con las cualidades propias de un artista, de imaginación creadora, voluntad, serenidad, observación, entusiasmo por su obra y sobretodo, de sentido constructivo; un verdadero instinto de las formas resistentes, innato o adquirido, desdibujándose en cierto modo su preparación científica. Hay que pensar que la labor de este docente tuvo lugar en los comienzos del uso del hormigón armado, material del que Aparici, como admitiría Zabala, recelaba.

Previo a cualquier conclusión sobre el perfil del docente en el periodo en torno a comienzos del siglo XX, -fecha aproximada de la edición de los apuntes de construcción que presentamos-, consideramos interesante incorporar la reflexión que el ingeniero constructor[4] Eduardo Torroja haría en su *Discurso leído en el acto de su recepción en la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales* (1944).

> "Corría el año 1660 cuando Hooke ideó aquella ley que hoy nos parece tas sencilla; <<Ut tensio sic vis>>; y presintiendo en acaso toda su magnitud el valor del hallazgo, tardó diez y seis años en publicarla y aún lo hizo bajo aquel anagrama <<ceiiinosssttuu>> que nos recuerda el obscuro encanto de la alquimia medieval.

3 Estatutos de la Real Academia de San Carlos. Valencia.

4 Como así se gustaba denominarse el ingeniero Torroja.

Galileo había planteado en 1638 el problema de la resistencia de las barras o piezas prismáticas alargadas; pero sin pensar en establecer ninguna hipótesis análoga entre tensión y deformación. Tampoco parece que Hooke intentase sacar partido de su ley pare el estudio del problema de Galileo; Mariotte, casi simultáneamente (1680), intuye el problema de la flexión y da lugar a que los Bernoulli y Euler desarrollen sus conocidas teorías sobre la flexión y compresión de las barras y la forma de la elástica. Por fin, Coulomb (1776), es decir, un siglo después de Hooke, deja sentada la clásica ley plana de la deformación y de la tensión y, con ello, las bases de la vieja y elemental teoría de la Resistencia de Materiales, considerando inclusive el esfuerzo cortante, pero sin considerar la consiguiente deformación.

En la primera mitad del siglo XIX suenan tan conocidos todavía hoy como los de Poisson, Navier, Cauchy, Green, Stokes, Young. Puede decirse que es al empezar la tercera década del siglo cuando plantean las bases de la teoría de la Elasticidad en tres dimensiones con la ley de Hooke generalizada. La memoria de Navier, de Cauchy y de Poisson dejaron en realidad claramente establecidos los conceptos fundamentales de la teoría de la Elasticidad; y Green, muy poco después, introdujo, ya como básicos, los principios energéticos tan elegantes como fecundos en esta rama de la Ciencia.

En el tercer cuarto de siglo o poco más, se resuelven los problemas de reparto de tensiones por cargas concentradas en la superficie del sólido, con los estudios de Betti, Lord Kelvin, Boussinesq, Cerrutti y Hertz. Es la misma época en que se descubren las funciones de Airy y Maxwell y en la que Saint Venant, en 1855, resuelve satisfactoria y definitivamente el problema de la pieza prismática, incorporando, por así decir, la Resistencia de Materiales a la teoría de la Elasticidad.

Mientras tanto, los nuevos inventos del vapor y del acero extendían por doquier las redes de sus ferrocarriles; los recientes Cuerpos de Obras Públicas construían sus carreteras y puentes y viaductos, con la intensidad de los mejores tiempos romanos y la creciente densidad de las capitales obligaba a aumentar la altura y las cargas de las edificaciones, al mismo tiempo que aparecían naves de tipo industrial.

Se empezaba a sentir la apremiante necesidad de aplicar una teoría que permitiera racionalizar las estructuras y hacerlas más económicamente; sobre todo, las formadas por piezas prismáticas enlazadas en los diferentes tipos de celosías que aquellos hombres habían ido creando, con genial intuición, al formidable empuje de las nuevas necesidades.

Pero las mismas no hubieran podido ni siquiera plantearse sin la iniciación de los adelantos siderúrgicos; y, a su vez, aquéllas impulsaban éstos con acuciante impetuosidad, pues ya se había construido en 1808 un arco de fundición, en 1824 uno de perfiles laminados y en 1828 el colgante de Viena.

Precisamente en aquel año de 1855, en que Saint Venant resuelve el problema de la pieza prismática, es cuando se vierte la primera lingotada de acero Bessemer y, poco después, la de Martin-Siemens; con ello se desencadena la catarata incoercible de las construcciones metálicas que a los pocos años construye el puente de Forth con sus dos luces de 500 metros, apenas superadas hoy en este tipo de estructura, y culmina en la célebre cubierta de la sala de máquinas de la Exposición de Paris y en la torre Eiffel, que lanza la maraña graciosa de sus celosías a 300 metros de altura en soberbio y genial desafío al peso y al viento.

Por su parte, el hormigón armado hace su aparición y desarrolla rapidísimamente la técnica de sus estructuras. También ese mismo año de 1855 aparece el cemento Portland; en realidad, con los cementos naturales anteriores, ya se había pensado colocar en su interior alambres o armaduras que sirvieran para darle mayor resistencia a tracción, y, cinco años antes, había llegado a navegar algún estanque o río tranquilo el bote construido por Lambot. Inmediatamente empiezan a aparecer patentes como las de Coignet, Monier y Hennebique; todas ellas de hombres prácticos que dan la idea y crean el material sin conocer todavía sus leyes. Hasta 1894 no aparece la obra de Bauschinger sobre hormigón armado. En 1899 Considere hace sus interesantes publicaciones y, por aquella misma

época, aparecen las obras clásicas de Melan, Möller, Wunsch, Emperger, etc. Es, en definitiva, la obra presente del hormigón armado con su teoría completamente desarrollada y pujante sobre las bases clásicas de la Resistencia de Materiales aplicadas al sólido heterogéneo hormigón-hierro.

¿Qué había ocurrido?

Ello es también digno de señalar. La teoría había sido creada por hombres de ciencias con poca o ninguna concomitancia con la técnica de la construcción; hombres que discutieron, por ejemplo, largamente sobre la elección de una elasticidad rariconstante o una multiconstante; que buscaron las razones físicas de la elasticidad partiendo de la teoría molecular y de las leyes newtonianas y que, mientras tanto, se interesaron bien poco o nada por los problemas prácticos. Por otra parte, los técnicos, con sus maderas primero, sus frágiles fundiciones después, con sus hierros forjados y laminados y su hormigón armado, por último, presentían las enormes posibilidades de las estructuras trianguladas y porticadas e ideaban continuamente nuevos tipos de celosías y entramados. Con unos conocimientos rudimentarios de mecánica racional, a veces sin ninguno, iban creando los esquemas estructurales actuales y lanzaban sus pequeños ferrocarriles sobre ellos, aprendiendo casi solamente lo mucho que les enseñaban sus propios desastres.

Este aprendizaje, este campo que ellos mismo iban abriéndose y las posibilidades cada día mayores que la industria metalúrgica les iba proporcionando, les impulsaba a buscar en la Ciencia la justa proporción y eficacia de sus estructuras. Si bien se mira, todas ellas podían calcularse con sobrada aproximación mediante unos polígonos funiculares y, con la entonces ya vieja teoría de Coulomb, para determinar la tensión máxima en sus barras o vigas. El hormigón armado, por su monolitismo, requería ciertamente algo más de teoría hiperestática, pero todo ello podía obtenerse arrancando de las mismas bases en sólido heterogéneo y aplicando el viejo teorema de Clapeyron. Todo ello existía, e incluso la teoría de la Elasticidad había ido mucho más allá; sin embargo, apenas se utilizaba; pero el científico y el técnico, que hasta entonces habían marchado por separado, acabaron por mirarse. Quizá el científico se asombraba de las obras del técnico, y este, a su vez, comprendía mejor que nade la necesidad de salir de su ignorancia para seguir avanzando por el camino emprendido y realizar sus sueños queridos. Sin embargo, aquellas teorías maravillosas resultaban demasiado complicadas y abstrusas para se empleadas por el constructor del XIX." (Torroja, 1944, pp. 9-13).

Dentro del marco histórico en el que Aparici desarrolló su ejercicio profesional y docencia, fundamentó coherentemente sus explicaciones a partir de las bases propias de los métodos clásicos de resistencia de materiales isostáticas e hiperestáticas coherentemente con los planteados por matemáticos e ingenieros coetáneos a él, tales como Mohr[5] o las teorías recogidas en obras clásicas como las de Müller-Breslau[6], Navier-Bresse[7], o Ritter[8], entre otras.

Su enseñanza era completa, perfeccionándose y completándose de continuo. Precisamente en el momento que comienzan a tratarse en España la construcciones de cemento armado -aunque como se ha comentado anteriormente las tratase con la prevención propia de una novedad- vista su rápida propagación, haría un serio estudio sobre la nueva tecnología, reuniendo abundante documentación para la elaboración de una serie de

5 Christian Otto Mohr (1935-1918), ingeniero civil alemán, responsable de formalizar el concepto de la estructura estáticamente indeterminada y el desarrollo del método gráfico en dos dimensiones para el análisis de tensión conocido como círculo de Mohr.

6 Ingeniero teórico alemán (1851-1925) responsable del análisis del principio de los desplazamientos virtuales.

7 Claude-Louis Marie Henri Navier –ingeniero y físico francés- 1785/1836- creador de la teoría general de la elasticidad y Jacques Antoine Charles Bresse -ingeniero civil francés -1822/1883-, autores de las denominadas formulas vectoriales empleadas en la mecánica de solidos deformables para determinar la transformación del espacio vectorial de deformación al espacio vectorial de desplazamientos. A partir de ellas se pueden demostrar los teoremas de Mohr.

8 Método que consiste en realizar cortes en una armadura con el fin de encontrar las fuerzas internas en una armadura, tomando en cuenta la sección cortada en equilibrio y utilizando las 3 ecuaciones de equilibrio determinar las fuerzas internas. Este método únicamente permite realizar un corte en el cual se corten 3 barras (al menos una de las cuales no sea paralela a las otras dos).

lecciones en torno a la teoría de la construcción con dicho material a la que no llegó a denominar con el nombre de "estructura". Tal documentación lamentablemente no forma parte de los apuntes que, con toda seguridad son anteriores a estas reflexiones.

4. ARCHIVO DE JOSÉ FELIPE GIMÉNEZ LACAL, ARQUITECTO POR LA ESCUELA DE MADRID

Los apuntes que se recogen en la presente edición facsímil fueron propiedad del entonces estudiante de Arquitectura José Felipe Giménez Lacal, arquitecto titulado en la Escuela Superior de Arquitectura de Madrid en 1913, para el seguimiento de las clases del catedrático de la asignatura Federico Aparici y Soriano.

El origen del fondo documental de este arquitecto es diverso y reunido a partir de legados familiares, compras y donaciones. Parte importante de este archivo es producto de la actividad profesional de este arquitecto y de su padre, Francisco Giménez Arévalo, entre las décadas de 1870 a 1930. Ambos son autores de numerosos edificios de la ciudad de Granada en un momento en el que se había consolidado el impulso urbanístico decimonónico. En su archivo se conservan abundante material gráfico de proyectos y toda clase de documentos técnicos y bibliografía vinculada a su actividad edificatoria.

Giménez Lacal nació en Granada en 1880. Realizó sus estudios de Bachillerato en el colegio de los Jesuitas San Estanislao de Kostka, en Málaga, desplazándose a Granada para cursar Ciencias Exactas, formación imprescindible para el ingreso en la Escuela Especial de Arquitectura de Madrid, ya que para acceder a tales estudios era preceptivo ostentar los conocimientos necesarios para poder seguir las clases. Ya en los Estatutos de la Academia de San Fernando se establecía la norma de no admitir en la denominada "Sala de Arquitectura" al que no estuviera suficientemente instruido en la Geometría ni supiera dibujar suficientemente bien (Sanz, 1990, p. 158).

Durante su fructífera actividad profesional, desarrollada principalmente en Granada, realizó numerosas obras de edificación entre las que destaca la casa palacio de D. Fermín Garrido Rector de esta universidad en 1915, varios edificios en la Gran Vía de Colón, proyectos de urbanización en el ensanche, significándose como obra cumbre la dirección de obra y ejecución del Carmen de la Fundación Rodríguez Acosta en la ladera de la Alhambra.

Sobre este arquitecto se han versado dos tesis doctorales de la Universidad Granada: *José Felipe Giménez Lacal, el arquitecto en la Granada de su época*, (Moreu Jalón, 1988) y *El Carmen de la Fundación Rodríguez Acosta, una indagación gráfica* (Rivas López, 2013).

5. DESCRIPCIÓN Y ESTRUCTURA DE LOS APUNTES DE APARICI.

En el manuscrito se desarrolla el contenido de la asignatura del segundo curso "Construcción Arquitectónica" dentro del plan de estudios de 1896 que se estructuraba según el siguiente programa docente (Prieto González, 2004):

PRIMER Curso

ESTEREOTOMIA (lección alterna).

APLICACIONES DE LAS CIENCIAS FISICO-NATURALES A LA ARQUITECTURA I (lección alterna).

MECÁNICA APLICADA A LA RESISTENCIA DE MATERIALES Y ESTABILIDAD DE LAS CONSTRUCCIONES (lección alterna).

HISTORIA DE LA ARQUITECTURA Y ANÁLISIS FILOSOFÍCO DE SUS MONUMENTOS (lección alterna).

COPIA DE CONJUNTOS ARQUITETÓNICOS (lección diaria).

SEGUNDO Curso

CONSTRUCCIÓN (lección diaria).

HIDRAÚLICA (lección alterna).

TEORÍA DEL ARTE DE LA ARQUITECTURA (lección alterna).

COMPOSICIÓN-PROYECTOS I (lección diaria).

TERCER Curso

TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN (lección alterna).

APLICACIONES DE LAS CIENCIAS FISICO-NATURALES A LA ARQUITECTURA II (lección alterna).

TEORÍA DE LA COMPOSICIÓN (lección alterna).

COMPOSICIÓN-PROYECTOS II (lección diaria).

CUARTO Curso

ARQUITECTURA LEGAL (lección alterna).

MÁQUINAS (lección alterna).

TOPOGRAFÍA Y TRAZADO Y CONSTRUCCIÓN DE CAMINOS (lección alterna).

COMPOSICIÓN-PROYECTOS III (lección diaria).

Como se observa por el desarrollo del programa, la carrera pivota sobre dos grandes grupos de materias, los cuales aglutinan la construcción (parte científico-técnica) y la Composición (parte artística).

Ya Anasagasti en su edición original de 1923 de *La Enseñanza de la arquitectura*, recoge las reflexiones sobre la docencia de la arquitectura en la década de 1920 (planes de estudio, métodos de enseñanza, etc), pasando revista de forma sistemática a todos los aspectos que inciden en la formación del arquitecto. A pesar del tiempo transcurrido, conserva actualidad y frescura, manteniéndose vigentes las inquietudes por la adecuada formación del que ha de ser un buen arquitecto. En su libro pone en crisis aspectos de los anteriores planes de estudios entre los que manifiesta su consideración de que un único curso de construcción, tal y como se programaba en el plan de estudios de 1896, era insuficiente, por lo que posteriormente, en el plan de estudios de 1914, esta disciplina se vio ampliada a dos años, impartiéndose en primero y segundo curso. Es conveniente reseñar que según el plan de estudios implantado durante el período de dirección de Aparici, en el curso primero se comprendía la impartición de contenidos para alcanzar las competencias necesarias en mecánica aplicada a la resistencia de materiales y estabilidad de las construcciones, por lo que se entiende que el segundo curso se destinaba a los principios del oficio del construir la arquitectura.

Recurriendo al formato facsímil y lejos de pretender convertir estos apuntes de "Construcción Arquitectónica" que aquí se presentan en un icono de divulgación de investigación científica, proponemos el texto de Aparici como una expresión del buen hacer docente, de una bien intencionada y regulada formación de arquitecto y como ejemplo de la forma de impartir, ordenar y sistematizar los conocimientos de construcción de la primera Escuela de Arquitectura; conocimientos por otro lado imprescindibles para la aplicación práctica en la resolución proyectual de edificios pertenecientes a la época señalada. Aunque es mucho lo que ha cambiado hoy la docencia, esta publicación aspira a aportar una entrañable reseña histórica para los amantes de la enseñanza de la disciplina a la que Aparici dedicó su vida profesional.

El manuscrito en el que se recogen los contenidos de la materia de construcción se estructura en tres bloques: piedra, madera y un último dedicado al hierro, al que le sigue un apéndice en el que se incluyen apartados dedicados a cimentación y obras auxiliares. Los contenidos se desarrollan en temas ordenados según los siguientes bloques:

PRIMERA PARTE: PIEDRA

ELEMENTOS FUNDAMENTALES DEL EDIFICIO: TECHO

Techos adintelados

Bóvedas

- Bóvedas de estructuras concrecionadas
  - Arte romano
    - Bóveda de cañón
    - Bóveda por arista
    - Bóveda esférica
  - Arte bizantino
    - Bóveda de cañón seguido
    - Bóveda por arista
    - Bóveda esférica
- Bóvedas articuladas
  - Sistema adintelado de la Siria
  - Bóvedas románicas
- Bóvedas de crucería
  - Bóvedas de crucería francesa
    - Bóvedas escafiladas
    - Variante de la bóveda de crucería francesa
  - Bóveda de crucería inglesa
  - Bóveda de crucería alemana
- Bóvedas del Renacimiento
- Bóvedas modernas
  - Bóvedas compuestas
    - Bóveda por aristas
    - Bóveda en rincón de claustro
    - Bóvedas derivadas de las esféricas
    - Bóvedas esféricas sobre pechinas
    - Bóvedas esquilfadas
  - Bóvedas de crucería

- Contrarrestos
  - Contrarrestos romanos
  - Contrarrestos bizantinos
  - Contrarrestos árabes
  - Contrarrestos en la Edad Media

Cubiertas

- Cubiertas de piedra natural
- Cubiertas de piedra artificial
- Tejados modernos
  - Caballetes
  - Limatesas
  - Limahoyas
- Cubiertas de vidrio
- Azoteas

ELEMENTOS FUNDAMENTALES DEL EDIFICIO: SOPORTE

Soporte de techos adintelados

- Arte egipcio
- Arte griego
- Arte romano
- Arte bizantino

Soporte de techos abovedados

ELEMENTOS FUNDAMENTALES DEL EDIFICIO: PAREDES

Tipos de pared

- Pared de cimiento
- Pared de sótano
- Pared de fachada
- Pared de traviesa
- Paredes hastiales
- Muros de sostenimiento
- Muros de contención
- Paredes de cerca o cerramiento

Detalles inherentes a la estructura de la pared

- Molduras
  - Zócalos
  - Impostas
  - Cornisas
- Huecos
  - Jambas
  - Dintel

APÉNDICE

Pavimentos y solados

SEGUNDA PARTE: MADERA

GENERALIDADES

Características de la madera

Madera enteriza

- Madera gruesa
- Madera menuda

Entramados de madera. Leyes a la que obedecen

- Primer principio
- Segundo principio
- Tercer principio. Leyes de resistencia

Armado de vigas

- Superposición de elementos
- Uniones entre elementos
- Elementos auxiliares

- Clavos
- Tornillos
- Pernos
- Grapas
- Cinchos
- Abrazaderas o bragueros
- Bolsones o estribos

ELEMENTOS FUNDAMENTALES DEL EDIFICIO: TECHO

Entramados

Forjados

Armaduras.

- Clasificación

- Clasificación por formas
  - Armaduras a manga (también en pg 259-262)
  - Armaduras a dos aguas
  - Armadura de pabellón (también en pg 262-264)
  - Armaduras cilíndricas
  - Armaduras cónicas
  - Armaduras cupulares
- Clasificación en función de la superficie a cubrir
  - Armaduras elementales
    Armaduras a la molinera
    Armaduras de par y picadero
    Armadura de par e hilera
  - Armaduras compuestas
    - Armaduras de forma o cuchillo
- Armaduras compuestas de piezas rectas con tirante
  - Tipos de ensamble del par con tirante
  - Tipos de enlace de pares
  - Empleo de los puentes
  - Empleo del pendolón

TERCERA PARTE: HIERRO

- Por ensamble de ángulo
- Por ensamble de hierros ordinarios con especiales
- Por ensamble de piezas armadas

VIGAS ARMADAS

Vigas de almas continuas

Vigas de almas caladas o discontinuas

Asiento de vigas

ELEMENTOS DE UN EDIFICIO: TECHO

Suelos

- Suelos de hierro completamente incombustibles
  - o Suelos formados de vigas y planchas de hierro
  - o Suelos formados por un emparrillado de hierro con relleno de botes, bovedillas, etc.
  - o Suelos formados con un emparrillado de hierro y bóvedas de alguna importancia
    - Suelos antiguos
    - Suelos de Vaux
    - Suelos modernos
  - o Suelos con Bovedillas de hierro
- Suelos mixtos de madera y hierro

Embrochalados

Armaduras

- Armaduras completamente de hierro
  - o Armaduras de hierro colado
    - Imitación de las armaduras de madera
    - Empleo del hierro colado en témpanos (barras)
  - o Armaduras de hierro dulce (perfiles de acero laminado)
    - Armadura a dos aguas

      Armaduras con pares laminados

      Cuchillos a dos aguas con alma calada

      Cuchillos planos en la parte exterior y curvos o poligonales en la interior
      - Armaduras de 20 a 24 m. de luz
      - Armaduras de 35 m. de luz
      - Armaduras de 114,30 m. de luz
      - Armaduras cilíndricas exterior e interiormente

        Armaduras curvas interiormente con tendidos planos al exterior

        Armaduras curvas exterior e interiormente
      - Armaduras en que los cuchillos son falciformes
        - Armadura a un agua o marquesinas
        - Armadura de pabellón
  - o Armadura de pabellón propiamente dichas
  - o Flechas o chapiteles
- Armaduras cupuliformes
- Armaduras mixtas de madera y hierro. Ejemplos
- Armaduras de formas especiales
  - o Armaduras de perfil de Sierra
  - o Armaduras de perfil quebrantado

Cubiertas metálicas

  - Cubiertas de zinc
  - Cubiertas de plomo
- Cubiertas planas
- Cubiertas para cúpulas
  - Cubiertas de palastro
  - Cubiertas de cobre

Accidentes (elementos) que pueden presentarse en las armaduras

  - Caballetes y limas-tesas
  - Limas-hoyas
  - Canalones y bajadas
  - Azoteas

ELEMENTOS DE UN EDIFICIO: EL SOPORTE Y LA PARED

Soporte de hierro

  - Apoyos de hierro colado
  - Apoyos de hierro dulce

Paredes de hierro

  - Entramado.
  - Tabicado.

APÉNDICE

Cimientos

  - Condiciones del firme
  - Reconocimiento del terreno. (también en 438)
  - Corrección o mejora del terreno
  - Condiciones del cimiento
- Posición forma y magnitud
- Aseguramiento de asientos
  - Métodos para fundar
- Sobre rocas
- Sobre base artificial
  - Fábrica del cimiento
  - Fundaciones sobre pilares
  - Fundaciones sobre plataformas
  - Fundaciones sobre madera
- Pilotaje
- Cálculo del pilotaje
  - Emparrillados

Obras complementarias

  - Miradores y suelos volados de balcones
  - Escaleras

BIBLIOGRAFÍA

1885-86 Apuntes y Elementos Fundamentales de Construcción. (s. f.) Madrid.

Anasagasti, T. de (1995) *Enseñanza de la arquitectura: cultura moderna técnico artística.* Barcelona: Reverte.

Instituto Juan de Herrera (1994) *Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid: 1991-1993* (Mariar S.A.)

Moreu Jalón, José Eduardo (1999) *José Felipe Giménez Lacal, el arquitecto en la Granada de su época.* Universidad de Granada, Escuela Técnica Superior de Arquitectura.

Navascués Palacio, Pedro (1973) *Arquitectura y Arquitectos madrileños del siglo XIX* (Vol. XVII). Madrid: Instituto de Estudios Madrileños.

Piñar Samos, Javier (com.) & Giménez Molina, Carmen (com.) (2015) *El poder del ingenio.* (Celebrado en Granada, CAJAGRANADA, del 12-III-2015 al 30-VI-2015). Granada: Fundación Caja Granada.

Prieto González, José Manuel (2004) *Aprendiendo a ser arquitectos: Creación y desarrollo de la Escuela de Arquitectura de Madrid (1844-1914).* Madrid: Departamento de Historia del Arte. Instituto de Historia. C.S.I.C.

Rivas López, Esteban José. (2013). *El Carmen de la Fundación Rodríguez Acosta, una indagación gráfica.* Universidad de Granada, Escuela Técnica Superior de Arquitectura.

Sanz, M. M. V. S. (1990) Docencia y titulación en las Reales Academias: Control académico en la construcción. *Anales de historia del arte,* (2), 155-178.

Torroja y Miret, Eduardo, & Peña Boeuf, Alfonos (1944) *Discurso leído en el acto de su recepción por el Excmo. Sr. D. Eduardo Torroja y Miret y contestación del Excmo. Sr. D. Alfonso Peña Boeuf el día 29 de noviembre de 1944.* Madrid: Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales.

Zabala y Gallardo, Manuel (1918) Don Federico Aparici. *Arquitectura: Órgano Oficial de la Sociedad Central de Arquitectos. 1* (1), 7-13.

ÍNDICE DEL FACSÍMIL

PRIMERA PARTE

PIEDRA

ELEMENTOS FUNDAMENTALES DE UNA CONSTRUCCION

Estos elementos son tres : TECHO, SOPORTE y PARED; y los tres son esenciales toda vez que sin ellos no hay edificio. Al estudiarlos precisa empezar por el techo, pues mal se podrian estudiar el soporte y la pared sin conocer sus verdaderas funciones derivadas del análisis de aquel.

I. TECHO

a - TECHOS ADINTELADOS

El techo tiene por objeto cubrir un espacio ó separar dos pisos de un edificio.

Lo primero que se ocurre es disponer horizontalmente losas ó dinteles que se apoyen sobre los muros que suponemos ya construidos. Esto es lo fundamental del techo egipcio; sobre los muros apoyaban las cabezas de los dinteles y el conjunto lo cubrian con una ligera capa de tierra apisonada y dispuesta en pequeña pendiente (Fig. 1). Vea-

mos si para nosotros puede ser esta una solución; desde luego se presenta un inconveniente, que es la limitación del espacio que se quiere cubrir, inconveniente resuelto en Egipto subdividiendo el espacio por medio de filas de columnas que sostienen una serie de dinteles sobre los que se apoyan á su vez losas de dimensiones mas reducidas que las que se hubiesen necesitado si dichas columnas no existiesen. Queda así la cuestion reducida á términos bien sencillos y completamente resuelta, pero á costa del espacio utilizable y de la diafanidad de la sala.



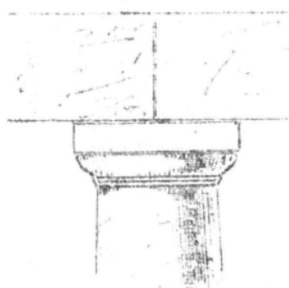
Fig. 1

No se limitan á las enumeradas las dificultades que presenta el techo adintelado; hay que agregar que la piedra no trabaja en buenas condiciones, pues hay esfuerzos transversales que tienden á producir flexiones, lo que exige la disminución de las cargas superiores y dar á las piezas mayores dimensiones que las necesarias; verdad es que en Egipto solo sostenian una capa ligera de tierra; pero si se trata de un edificio de varios pisos la disposición descrita no es práctica.

Pero todas estas dificultades no fueron, sin embargo, causa bastante para que el sistema adintelado no tuviese grandes aplicaciones; al contrario, los artistas griegos le desarrollaron llegando á un sumo grado de perfección, y es, por tanto, en la época griega donde debe ser estudiado.

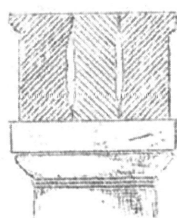
Supongamos un pórtico griego limitado su re-

cinto por el muro de cacela y la fila de columnas paralela á él, y vamos á ver como cubrian los griegos este pórtico, admitiendo que el muro y las columnas estan ya establecidas; sobre las últimas colocan el arquitrabe, compuesto de varias piedras á continuación unas de otras, pero teniendo cuidado de que las juntas vengan sobre los ejes de las columnas, (Fig. 2); hecho esto ya se tienen con el muro y el arquitrabe dos apoyos para que descansen los dinteles transversales que forman el techo. Este sistema es el que vamos á detallar.


Fig: 2

Si nos fijamos en el arquitrabe vemos que es una pieza que trabaja por flexión, y por tanto en malas condiciones, y que si se rompe desaparece el atado de las columnas, por lo que necesita grandes dimensiones que dificultan el transporte y elevación; pues bien, los constructores griegos evitan este inconveniente no haciendo el arquitrabe de una sola pieza, sino de dos ó tres adosadas, y así, aunque se rompa una el atado de las columnas no se pierde y se tienen mas facilidades para conseguir piezas sanas así como para su transporte y elevacion.

En el Parthenon encontramos un ejemplo de arquitrabe compuesto de tres piezas dispuestas en la forma que indica la figura 3, y en ella se ve que las caras de contacto no estaban labradas mas que en unas pequeñas tiradas, obteniéndose así mas facilidad para el adosado


Fig. 3

perfecto de las piezas y se economiza además la labra inútil de la parte central

No dejan de presentarse problemas problemas que resolver en los encuentros de arquitrabes; si se trata de una esquina y suponemos que aquellos dos elementos están formados de una sola pieza, se resuelve la cuestión llevando la junta al centro de la columna, con lo que se evita la rotura á que podian dar lugar los ángulos agudos; la unión se refuerza con grapas en forma de I recibidas con plomo (Fig. 4). Si el encuentro tiene lugar entre arquitrabes formados por dos ó tres pares de piezas se emplea la solución indicada en las figuras 5 y 6, por mas que este último caso es raro en los monumentos griegos, toda vez que, cuando el arquitrabe era triple, al llegar á la columna anterior á la de la esquina, sustituían las tres piezas por dos.

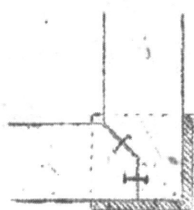


Fig. 4.

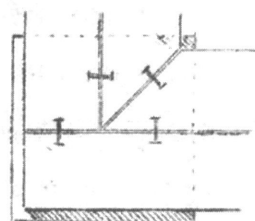


Fig. 5.

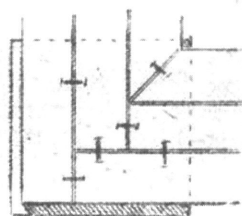


Fig. 6.

Puede ocurrir tambien que el encuentro de arquitabes sea en puntos intermedios, y entonces basta hacer lo que se indica en la figura 7, llevando la junta al centro de la columna; pero si dichos arquitrabes son multiples es dificil sobre el ábaco del capitel varias piedras por ser pequeña la superficie de asiento, y este es el origen de colocar dinteles transversales, no á la misma altura del arquitra-

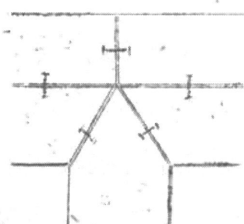
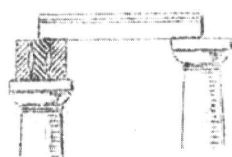


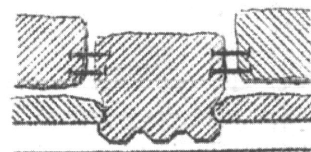
Fig. 7

te, sino apoyados sobre él, encargándose el friso de tapar sus cabezas al mismo tiempo que sostiene la cornisa. Hay, pues, razones para dar importancia al friso compuesto en el orden dórico de triglifos y metopas, y es lógico que en él cada pieza exprese el papel que desempeña; el triglifo es un apoyo en prolongación de la columna y á plomo con ella, adoptándose para su decoración las canales análogas á las estrias labradas en aquellas.

El apoyo de los dinteles transversales sobre el arquitrabe da origen á la diferencia que se percibe entre las alturas á que estan situados los capiteles interiores y exteriores (Fig. 8). Entre cada dos triglifos se engargolan las metopas que completan el friso; detrás se colocan grandes piezas cuyo lecho superior enrasa con el de los triglifos, y así se puede prescindir de que las juntas de la cornisa vengan siempre sobre aquellos elementos. (Fig. 9)


Fig. 8

En algunos templos la métopa va sacada de la misma pieza que el triglifo (Propileos), pero entonces no esta decorada, quizás por la dificultad de manejar la piedra.


Fig. 9

Finalmente, todavía puede haber un tercer sistema de dinteles que se apoyen sobre los transversales, y que tienen por objeto disminuir mas las dimensiones del espacio que han de cubrir las losas encasetonadas. (Véanse las láminas referentes á los templos Dórico y Jónico).

Como último detalle para apreciar hasta que punto llegó la perfeccion del arte griego, diremos que, siguien-

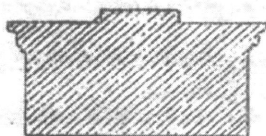


Fig. 10

do la regla adoptada de no desperdiciar mano de obra, los dinteles no estan labrados sino en las partes visibles y en la superior solo las tiradas necesarias para apoyar las losas (Fig. 10)

Las molduras de grandes dimensiones aparecen hechas de otra pieza, evitándose así dificultades de labra, y esto permite tambien emplear piedras de menor volumen (Fig. 11).

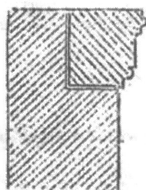


Fig. 11.

Vemos, en resumen, que el sistema adintelado griego quedaba reducido á subdividir el espacio que había de cubrirse por elementos dispuestos en cuadrícula formada por el arquitrabe, los dinteles normales á él y otros á su vez normales á estos, cubriéndose los espacios con losas ahuecadas de esmeradísima labra, apoyadas en unas tiradas ó resaltes que tienen uno ó dos mm.s sobre la moldura de los dinteles superiores. Las formas de las losas son variadas, pero siempre tienden á aligerar su peso (Véanse las láminas)

No eran desconocidos de los constructores griegos los tochos ó espigas, que empleaban para sujetar los dinteles al arquitrabe.

Tal es la disposición de techos denominada por algunos adintelada combinada, que alcanzó gran desarrollo y perfección en la época griega. Sin embargo, sus inconvenientes son tales que hacen impracticable para nosotros esta solución

---

Hay todavia otra clase de techos que puede referirse al grupo anterior y estan formados por voladizos sucesivos, es decir, avanzando las piedras de cada hilada sobre las de la inferior, hasta obtener una pequeña separacion facil de cubrir con una sola piedra. Esta es la disposición seguida en los pasadizos y galerías de las grandes pirámides egipcias y en algunas construcciones griegas como el Tesoro de Atrea. (Fig. 12)

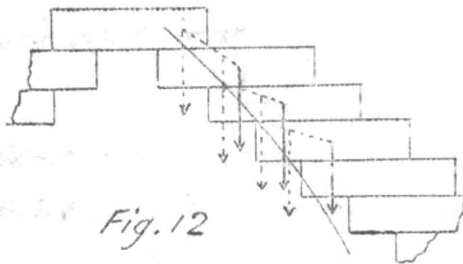


Fig. 12

Veamos si por este medio hallamos solución. Por de pronto ya no se exijen aquí las extraordinarias dimensiones necesarias en el sistema anterior, pero en cambio las condiciones de equilibrio no se satisfacen sino con determinadas exijencias. En efecto: la pieza superior de cierre produce en cada uno de sus dos puntos de apoyo una carga igual á la mitad de su peso, que compuesta con el del segundo elemento da una resultante que á su vez produce una segunda al componerla con el peso del tercer elemento, y así sucesivamentes y uniendo los puntos en que cada resultante parcial corta el lecho correspondiente tendremos dibujada la curva de presiones que sale rápidamente del perfil. Para contrarrestar esto hay que dar grandes tizones á las piedras, retirando con ello los pesos hácia el interior, ó exajerar el perfil dándole mucho peralte, y en ambos casos hay exceso de material

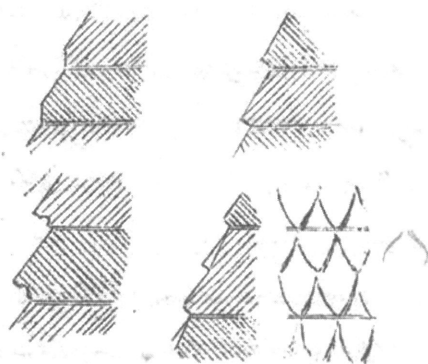
Se comprende facilmente que esta solución para cubrir un espacio no ha de ser de grandes aplicaciones, pero hay, sin embargo un caso en que se adopta: en las

flechas ó agujas de las torres que exijen mucha elevación, cosa muy conveniente para este sistema. El techo es en este caso una pirámide de planta regular que se eleva hasta rematar en un botón superior. Estas agujas ó chapiteles se construyen también con madera, ladrillo ó cemento con armadura de hierro, pero el hacerlas de piedra tiene varias ventajas: economía en cubrirlas, dar mayor caracter monumental, etc.

Aunque en rigor no corresponde el estudio de las flechas á este lugar, toda vez que no pueden considerarse como techos, pues se presentan muchas veces acompañadas de tracería calada, diremos algo sobre su extructura.

Los lechos son planos horizontales, que tienen sobre los inclinados las ventajas de que el agua penetra con menos facilidad y que la piedra de angulo es de labra mas facil. Solo en el caso de ser curva la superficie exterior se hacen los lechos cónicos de generatrices normales al paramento.

Para preservar aún mas las flechas contra la acción de la lluvia se adoptan diversas soluciones, ya sea protegiendo las juntas horizontales con ligeros retallos ó bien escamando la superficie con imbricaciones. (Fig. 13)


Fig. 13

En la parte superior de la flecha, donde mas notable es la acción del viento, favorecida por la palanca que ejerce la veleta, cruz ó remate general, es precisamente donde los sillares son mas peque-

ños y se prestan mas al deslizamiento. Para evitarlo se ensartan las piezas en la barra de hierro que constitu-

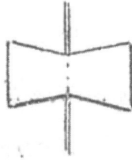


Fig. 14

ye el eje del remate, barra que á su vez se sujeta, á diversas alturas por medio de placas metálicas que á la vez tambien se unen á las hiladas. Conviene engrapar además los elementos entre sí, ó emplear toledanas (de bronce mejor que de hierro) para favorecer la resistencia del conjunto. (Fig. 14)

En las flechas caladas, de las que son ejemplo las de la catedral de Burgos, ya se pierde por completo el caracter de techos, como lo demuestra el trasdosado convenientemente dispuesto para despedir al exterior las aguas que penetran á traves del calado. El verdadero objeto de estas flechas es el obtener un remate en armonía con el resto de la edificación.

Para construirlas se pueden emplear dos sistemas: 1º Dividir las flechas por planos horizontales y hacer los troncos de pirámide así obtenidos con losas

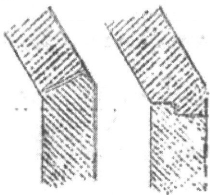


Fig. 15.

cuyas juntas inclinadas nunca deben caer en la arista exterior y sí algo desviada de ella (Fig. 15) No debe dejarse de emplear grapas de bronce, y no de hierro, que oxidándose con la humedad pudieran dislocar el conjunto. 2º Dejar nervios segun las aristas y engargolar en ellos las losas que llevan los calados (Fig. 16). Esto exije, con mayor motivo que el sistema anterior, el empleo de medios auxiliares de enlace, cuidadosa-

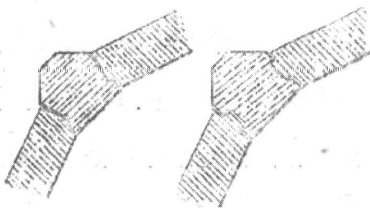


Fig. 16

mente dispuestos. A veces se emplearon en la unión de los nervios con las losas ranuras y lengüetas, análogamente á los ensambles de madera. Las losas se engargolan á su vez en las inmediatas inferiores, y aún se emplean cadenas horizontales resaltadas que favorecen la unión.

B. BÓVEDAS

La segunda solución para el techo es la bóveda, que resuelve definitivamente la cuestión

Se llama bóveda á una reunión de piezas denominadas dovelas, que se mantienen en equilibrio por las acciones mútuas que ejercen unas sobre otras, así como todo el conjunto lo está por las reacciones de los apoyos.

En este sistema desaparecen los inconvenientes que ofrece el anterior; aquí se pueden emplear piezas pequeñas que trabajan en buenas condiciones, no hay limitación de espacio por razones de estructura al menos, y hay facilidades relativas para la construcción así como para el transporte y elevación de los materiales. Es, por tanto, la bóveda la solución mas conveniente.

Con la bóveda, sin embargo, aparece un esfuerzo que no existía en el sistema adintelado: el empuje sobre los muros ó apoyos en general. En dicho sistema solo había esfuerzos verticales; en este se presentan oblícuos

lo que exige formas y dimensiones convenientes en los apoyos, y esto hace cambiar por completo la disposición de las plantas.

Clasificaremos las bóvedas para su estudio, con arreglo á su estructura, en dos grandes grupos:

1.º - Bóvedas de estructura concrecionada.

2.º - Bovedas de estructura articulada.

BÓVEDAS DE ESTRUCTURA CONCRECIONADA

Arte romano.

En rigor no debiera dárseles el nombre de bovedas si atendemos á la definición que de estas hemos dado; estan formadas, en efecto, las bovedas concrecionadas de elementos conglomerados y unidos de tal modo que al cabo de cierto tiempo constituyen un todo homogéneo capaz de producir solo cargas verticales. Estas bóvedas son las mas antiguas; se encuentran en Ninive canales cubiertos de bóveda fabricada con ladrillo y betunes, pero donde se emplearon por primera vez en gran escala fué en Roma, siguiendo las tradiciones asirias y utilizando las excelentes puzolanas, buenas cales y piedra no dificil de partir que el constructor romano tenía a su disposición. No solo se justifica la adopcion de este sistema por los romanos en lo que se refiere á los recursos de los materiales sino tambien á la mano de obra, toda vez que disponían de gran número de esclavos, que no po-

drían hacer un trabajo inteligente, pero sí el que solo requiriese algo de práctica. Todavía concurría una circunstancia mas en la construcción de las bóvedas concrecionadas que atraía á los romanos, y es que no necesitan cimbras complicadas, toda vez que su carácter desdeñaba dar importancia á lo provisional ó accesorio.

El procedimiento general de construcción era por demás sencillo; se tomaba un molde de la forma de la bóveda, encima se disponía piedra pequeña recibida con mortero, y luego que este fraguaba quedaba reducida la bóveda á una especie de cascarón de una sola pieza que solo producía cargas verticales. Antes de quitar el molde era preciso dejar transcurrir el tiempo necesario para el endurecimiento de la obra, á fin de evitar variaciones de forma.

Los romanos solo construían tres clase de bóvedas: la de cañon seguido, la bóveda por aristas y la esférica, aplicada á algunos casos particulares, como los nichos. Estudiemos cada una de ellas en particular.

Bóveda de cañon seguido - Construían aquellos de trecho en trecho arcos de ladrillo, para lo que les bastaba una sencilla cercha; enlazaban dichos arcos entre sí en el sentido de las generatrices del cañon por medio de correas del mismo material sirviéndose de una tabla ó liston que apoyaban sobre los arcos ya construidos, y formaban de este modo un armazón, cuyos huecos tronco-piramidales rellenaban con piedra y mortero (Fig. 17). Quedaba de este modo

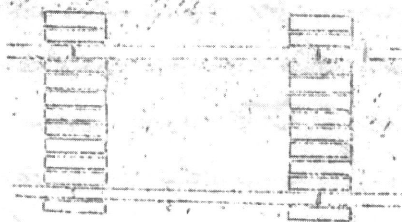


Fig. 17

construida la bóveda sin necesidad de cimbra, que era sustituida por los arcos de ladrillo, con la notable ventaja de que estos elementos quedaban embebidos en la construcción formando parte del macizo, lo que no ocurre con aquellas.

Otras veces, el constructor romano variaba la anterior disposición no haciendo continuas las correas, y sí dejando endejas en los arcos (Fig. 18), ó establecían arcos acoplados, con lo que desaparecía la tendencia que pudiera haber á la flexion lateral. (Fig. 19)

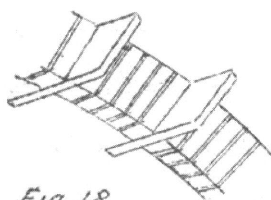


Fig. 18

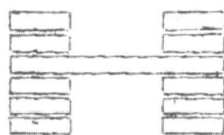


Fig. 19

Tambien se construyeron las bovedas de cañon por medio de hojas sucesivas; á este fin se empezaba por establecer una pequeña cimbra muy ligera y sobre ella se hacía una hoja de la bóveda tabicada, empleando ladrillos de grandes dimensiones con objeto de cerrar el arco lo mas pronto posible. Sobre esta hoja como cimbra se construía una segunda, haciendo ya uso de ladrillo mas pequeño toda vez que ya no era necesario terminarla con tanta urgencia como la primera. Algunos de los ladrillos de esta se ponian de canto para formar endejas y facilitar la union de las hojas entre si.

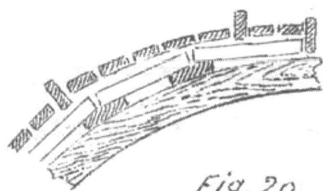
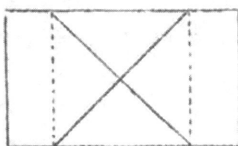


Fig. 20

Cuando se trataba de construir arcos de grandes dimensiones se ejecutaban superponiendo dos ó mas, evitándose así tener que robustecer la cimbra, y al propio tiempo este sistema permitía ejecutar la obra mas deprisa, cosa necesaria, pues los operarios que iban construyendo las fábricas laterales, al llegar á la altura de la bóveda se

hubiesen encontrado detenidos hasta tanto que aquellas estuvieren cerradas. Una particularidad presentan estos arcos: la de estar hechos con gran imperfección; esto no era por descuido, é indudablemente tenía por objeto conseguir que, sobre la superficie desigual que quedaba, tuviera mayor adherencia la capa de estuco del revestimiento, á la par que permitía obtener la rapidez tan necesaria en esta clase de obras.

Bóveda por arista. Fué empleada generalmente sobre planta cuadrada; el sistema de construccion es análogo al descrito para las bóvedas de cañón. Según las aristas se disponian arcos de ladrillo, simples ó con endejas, ó bien dos arcos acoplados, y luego, siguiendo las generatrices de los cañones, se construian correas, y las cajas tronco-cónicas que resultaban se rellenaban, como siempre, con piedra y mortero.


Fig. 21

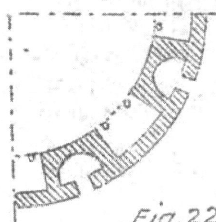
Si la planta era rectangular solucionaban el problema reduciendo aquella á un cuadrado, avanzando los apoyos, y así se obtenía una bóveda por arista precedida de dos trozos de cañón (Fig. 21)

Boveda esférica. Si las dimensiones eran pequeñas se construía un armazón formado con arcos de ladrillo en sentido de los meridianos, y otros en el de los paralelos, rellenando los huecos como en los demas casos.

Tratándose de bovedas de mayores dimensiones variaba por completo la cuestion, y vamos á estudiar el ejemplo mas notable que aún se conserva: el Panteon de Agrippa en Roma.

Descansa la cúpula sobre un tambor de mas de 40 metros de diámetro, y con tan extraordinarias dimensiones se comprende que para su construccion hubiese sido necesaria una cimbra de ejecución y armado mas costosos que la construcción misma por todos conceptos.

El tambor que sustenta la cúpula está constituido por muros de gran espesor, toda vez que necesitan tener una seccion suficiente para alojar la curva de presiones; pero como la resistencia que han de ofrecer no exije que sean macizos se han dejado en su interior ocho nichos que presentan en los frentes dos columnas; los ocho machos intermedios entre estos nichos tampoco son macizos, pues estan aligerados con otros nichos, invertidos respecto de los anteriores (Fig. 22) que comunican con el exterior de la construcción; estos huecos, así como los interiores, sirven, según ya hemos dicho, para aligerar el tambor, quedando satisfecha la estabilidad sin exceso de materia.


Fig. 22

La bóveda presenta en su cara interior un encasetonado, cuyo perfil ofrece la singularidad de tener molduras muy amplias y abiertas en la parte inferior, y cerradas y hundidas las superiores. Algunos opinan que, dada la magnitud de la bóveda, esto se hizo para el mejor efecto perspectivo, pero es mas posible que con ello se buscase la mayor facilidad para retirar y sacar el contramolde.

Toda la parte interior acusa perfectamente el sistema de construcción que debió seguirse en esta bóveda; indudablemente se empezó por construir arcos me-

ridianos con auxilio de cerchas, y luego, en el sentido de los paralelos, se voltearon pequeños arcos escarzanos, colocando enseguida los contramoldes para hacer los casetones; se rellenaron despues los huecos con piedra y mortero, colocando á mano la primera, pues la bóveda no podía resistir el apisonado. No es probable, dada la práctica tradicional de los romanos, que este procedimiento de construcción se siguiera en todo el espesor de la bóveda, pues las cerchas hubieran tomado ya gran importancia; es decir, que debe haber una segunda hoja, y lo comprueban los siguientes hechos:

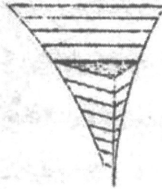
1º Que los meridianos no vienen siempre sobre un punto de apoyo y si á veces sobre un hueco.

2º Al descubrir Piranccio la parte exterior cubierta con metal (solo pudo hacerlo en la superior por impedírselo en el resto el enjutado) observó que la cara exterior no correspondía con la interior (V. las láminas)

Todo parece indicar, por lo tanto, que primeramente se construyó una hoja, y utilizando esta como cimbra se fabricó la segunda.

Volviendo al interior se ve que sobre las columnas de los ocho grandes nichos se apoyan dinteles triples y sobre ellos arcos de descarga; tambien en la hoja exterior hay arcos de descarga tumbados sobre la hoja interior, y á ellos vienen á parar arcos meridianos que apoyan su cabeza en el anillo del lucernario, que se halla convenientemente reforzado por medio de arcos rebajados, como puede verse en las láminas. Todo esto no pasa, sin embargo, de ser conjeturas mas ó menos fundadas para poder reconstituir la extructura de la bóveda.

Los constructores romanos solo llegaron hasta aquí, haciendo que sus bóvedas sobre tambores circulares ó cilíndricos, y si alguna vez, como sucede en el templo de Minerva Médica, en Roma, se presentaba una planta poligonal, salvaban con voladizos (Fig. 23) los triángulos que quedaban al pasar á la forma circular y después los disimulaban con estucos (V. las láminas.)


Fig. 23

Arte bizantino

Trasladado el imperio á Bizancio, las construcciones orientales tienden á ser iguales á las romanas, pero no tarda en sentirse la influencia de las tradiciones del pais y de los medios disponibles. En efecto; contaban los bizantinos con un elemento de excelentes condiciones: el ladrillo, que los operarios manejaban con gran práctica. Al igual que los romanos, no entraba en la idea de estos constructores el empleo de la cimbra, y volteaban las bóvedas al aire; algo de esto se conserva en algunas localidades de España, por ejemplo, en Badajoz, donde se hacen de este modo las bóvedas de los sótanos.

Lo mismo que en Roma, construían los bizantinos tres clases de bóvedas: de cañón seguido, por arista, y esféricas con sus congéneres. Vamos á estudiar cada una de ellas.

Bóveda de cañón seguido.- Se construían estas bóve-

das por medio de una serie de anillos verticales que se soldaban con mortero unos á otros; si en los extremos había muros construidos se pegaban á ellos los anillos primero y último, pero si no sucedía así se empezaba por hacer dos arcos de cabeza con el auxilio de una cercha; á uno de estos arcos se pegaba el primer anillo compuesto de ladrillos colocados de plano con objeto de aumentar la superficie de contacto entre dos anillos consecutivos; al primero de estos se soldaba el segundo formado del mismo modo, teniendo cuidado de alternar las juntas. El obrero solo tenía que cuidarse para dar la forma cilíndrica á la bóveda de que cada anillo estuviese en un plano vertical y fuese circular; para esto le bastaba emplear un cordon ab, a'b' (Fig. 24) y un listón bc, b'c; que formaban el triángulo abc, a'b'c, que girando al rededor de ac, a'c; describía el semicírculo bb, en cuyo plano debía estar la junta que pasaba por b'.

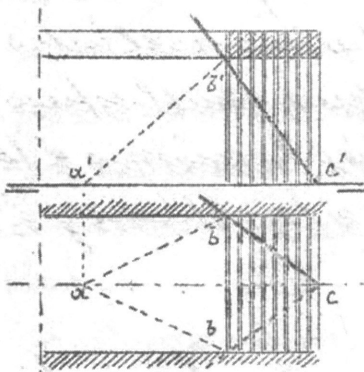
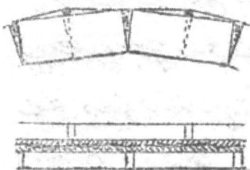


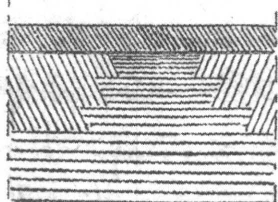
Fig. 24

Para pegar los anillos se empleaba un mortero rojizo, mezcla de buena cal con polvo de teja y ladrillo, y, según las observaciones que se han hecho, parece ser que se colocaban dos capas, una al tiempo de hacer el anillo y otra al pegar el siguiente, resultando juntas muy gruesas (Fig. 25) que casi llegan á tener el espesor de un ladrillo. El procedimiento resultaba por demas sencillo y conducía á construir la bóveda sin cimbra; presenta, sin embargo, dos inconvenientes: uno es la mencionada dificultad de conser-

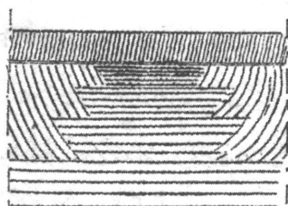

Fig. 25

var la dirección vertical de los anillos; otro es la tendencia al deslizamiento de esos mismos anillos.

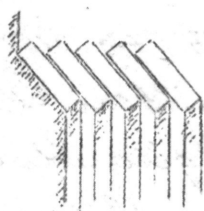
Se trató de evitar esto haciendo los anillos oblícuos y aún combinándolos con hiladas horizontales (Fig. 26)


Fig. 26

También se emplearon con el mismo objeto anillos curvos y dando lugar á análogas combinaciones (Fig. 27)


Fig. 27

Finalmente; se hizo también uso de juntas tronco-cónicas, empezando por dejar en el muro de cabeza una pequeña ceja donde se alojaba el primer ladrillo (Fig. 28). Las desigualdades que con este procedimiento se producían en el intradós, desaparecían después con el estuco. Esta disposición se aplicó lo mismo á los anillos verticales que á los oblícuos y á los curvos.


Fig. 28

Bóvedas por arista. En el arte bizantino se empleó por lo general, como en el romano, la bóveda por arista sobre planta cuadrada. Claro está que el problema se podía haber resuelto construyendo cada uno de los cañones como antes hemos dicho y yustaponiendo ó pegando anillos sucesivos á cada arco de cabeza; pero esto no podía satisfacer á los constructores de la época, pues en primer lugar se sabe que en una bóveda por arista, al dar secciones horizontales, se encuentra en el arranque un ángulo recto, pero á medida que nos vamos elevando dicho ángulo se va abriendo según disminuye la curvatura de la bóveda, que en la parte superior es muy pequeña y desde luego se com-

prende que esto se prestaba muy poco á la construcción por anillos, que exijen gran peralte, y por otra parte, con el sistema descrito no podría salir perfecta la arista á menos que no se escafilasen algo los ladrillos, con los graves inconvenientes de exigir mucha mano de obra, quedar en malas condiciones, etc.. Salvó el constructor bizantino estos inconvenientes rompiendo con la tradición, y, procediendo inversamente, fijaba de antemano las intersecciones de los cañones; veamos con todo detalle como se hizo esto. Supongamos que se trataba de cubrir la planta a b c d (Fig. 29), según ab, bd, dc y ca; había cuatro arcos de medio punto proyectado en alzado según mn, mpr y rq; para las diagonales tomaban arcos de círculo cuyo centro estuviese algo mas bajo que el plano de arranques, por ejemplo, en oo'; este arco mβr, rebatido en el

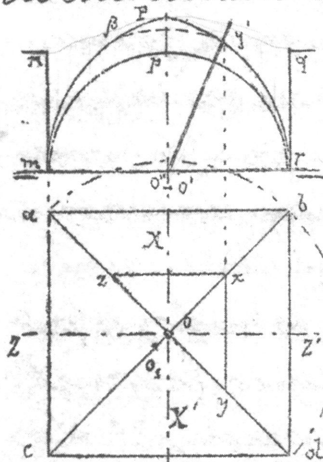


Fig. 29

planta será el aαd; fijados así los seis arcos, los tímpanos ya no podían ser cilíndricos y sí superficies de revolución engendradas por el arco diagonal girando alrededor del eje zz' para los tímpanos aoc y bod, y alrededor del xx' para los aob y cod; el punto x, por ejemplo, describe en el giro, con relación al tímpano bod el arco de círculo proyectado según xy, y así los demas puntos. Tambien puede decirse que los tímpanos eran superficies tales que las secciones analogas á la xz daban semicircunferencias cuyo radio era la distancia o"y' que había hasta el arco diagonal. Si por los medios que nos dá la Geometría descriptiva determinamos diversas secciones horizontales de esta bóveda, vemos que

son curvas que presentan puntos singulares en las aristas, en tanto que los cortes dados cerca del arranque se presentan como secciones de una bóveda por arista, y que mas arriba (Fig. 30) las curvas resultan cerradas como si se tratase de una bóveda en rincón de claustro, y si nos elevamos todavía mas las secciones van aproximándose á una circunferencia análogamente al caso de la bóveda esférica. Finalmente; si determinamos la sección X X' de la bóveda veremos que se obtiene una curva, semejante á la indicada en la misma figura, es decir, presentando un punto de inflexión.

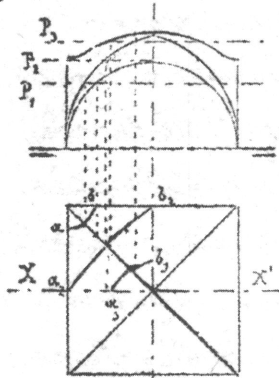


Fig. 30

Las ventajas que se conseguían con esta bóveda eran: 1ª La perfecta aplicación del sistema de anillos toda vez que las curvas se iban peraltando; 2ª La bóveda adquiría con el bombeo mayor resistencia, y 3ª No hacía falta cimbra.

Ahora bien; para que el operario pudiera guiarse en la construcción de estos anillos había que hacer lo siguiente: en primer lugar marcar un punto del arco diagonal en el espacio, y para ello se articulaba un listón OA, O'A' (Fig. 31) de longitud igual al radio de dicho arco; hecho esto, para construir el anillo que pasaba por el punto A A' del mismo diagonal se colocaba ese liston en la posición indicada en la figura, y enseguida se articulaba otro B B' de

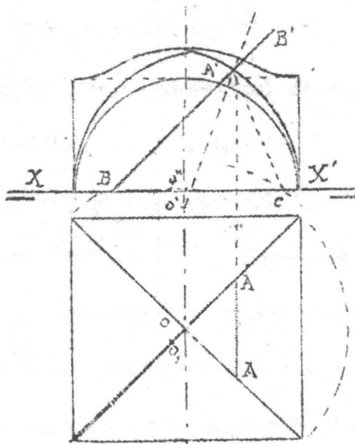


Fig. 31

longitud mayor, pero arbitraria, en un punto cualquiera de la recta XX; y se le hacía que pasase por AA'; enseguida, y una vez marcado en este listón el punto A' con auxilio del O'A', se unía aquel con otro punto de XX', tal como C, por medio de un cordon; se quitaba el liston O'A' y se hacía mover el triángulo alrededor de BC; es evidente que el punto A' trazaba en el espacio el anillo que pasaba por A, como se deduce del segundo modo de generación que hemos dado para esta bóveda. En resumen, vemos que se necesitaba el listón O'A' articulado en O' y de longitud fija, que solo sirve para marcar sobre el BB' el punto A'; que este segundo listón podía estar articulado en cualquier punto de XX', y había de tener longitud mayor que la O'A' con el fin de que sirviese para todos los anillos; y que una vez determinado sobre él el mencionado punto A', se unía por medio del cordon Ac á otro punto cualquiera de XX' para tener el triángulo BA'C que en su movimiento de giro daba la linea de intradós del anillo Aa.

En lugar de haber articulado el listón BB' en B, podía haberlo sido en O'', sobre la misma vertical de O' y en el plano de arranque, con lo que él mismo hubiese dado la inclinación de los ladrillos.

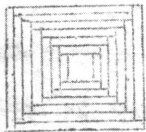


Fig. 32

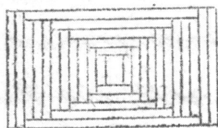


Fig. 33

Con lo que queda dicho, la construcción de la bóveda por arista resultaba muy sencilla, pues bastaba ir construyendo un anillo en cada témpano (Fig. 32). En el caso de planta rectangular la construcción era analoga, pero procuraban los constructores bizantinos hacer en dos témpanos opuestos dos ó mas anillos (Fig. 33) mientras que en los

otros dos solo se hacía uno con objeto de compensar la diferencia de longitud de los lados de la planta.

Observando que para pasar de esta bóveda á la vaída basta subir el centro del arco diagonal al plano de arranque, con lo que desaparece la arista haciéndose contínua la superficie, tendremos explicado el procedimiento empleado en la época que nos ocupa para construir dicha clase de bóvedas. Precisaba solo el primer listón O'A' (Fig. 34) igual al radio y articulado en el centro O-O'; se unía A' con un punto cualquiera del eje XX' por medio de un cordón, y el triángulo O'A'B, moviéndose alrededor de O'B daba la línea de junta que pasaba por A'. Se construía esta bóveda por anillos sucesivos como la de arista (Fig. 35); pero aún se introdujeron variantes como la de hacer que esos anillos, en lugar de ser paralelos á los lados correspondientes del cuadrado, fuesen normales á las diagonales (Fig. 36); y todavía se combinaron los dos sistemas con un objeto puramente decorativo según se indica en la fig. 37. (Véanse las laminas)

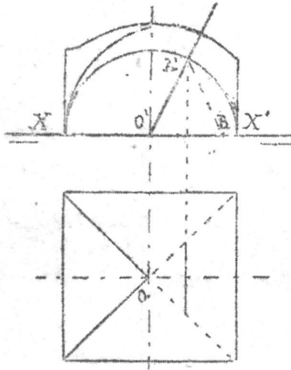


Fig. 34

Fig. 35

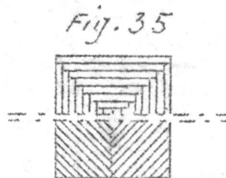
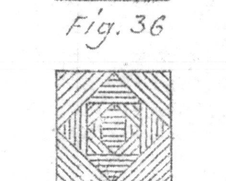


Fig. 36



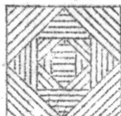


Fig. 37

Bóveda esférica - Es la que mas se adapta al procedimiento bizantino, toda vez que los anillos horizontales se sostienen y cierran perfectamente sin necesidad de cimbra. En estas bóvedas se operó por lechos horizontales hasta tanto que los ángulos eran muy agudos y excedían al de rozamiento; al llegar á ese punto, y huyendo siempre de dar importancia á la cimbra

dirigian las juntas, no al centro, sino á puntos situados sobre el eje y que iban estando sucesivamente mas altos, lo que conseguian dirigiendolas al arranque opuesto; y en efecto, se ve que los puntos O', O'', O''', O^{IV} (Fig. 38) vane elevándose segun nos aproximamos al vértice de la bóveda. El claro que al cerrarla quedaba una especie de cuña en hueco, pero se rellenaba facilmente con auxilio del mortero.

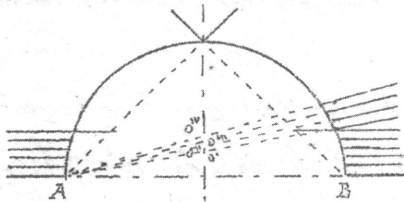
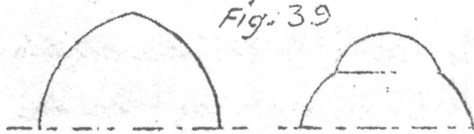


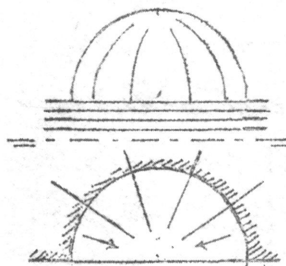
Fig. 38

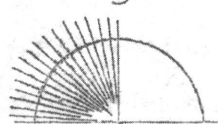
Con el objeto ya indicado de dar poca importancia á la cimbra se han adoptado en el arte bizantino otras soluciones, como las que derivane de apuntar el arco ó romper el perfil (Fig. 39) Esto se presenta en las bóvedas orientales, árabes y persas.

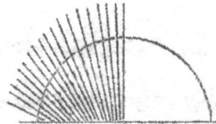

Fig. 39

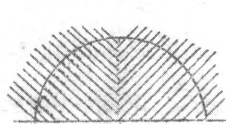
Vamos á ocuparnos ahora de las bóvedas derivadas de la esférica.

Tenemos en primer lugar el nicho, que es una porción de bóveda esférica, y por tanto parece lógico construirle como aquella, es decir, por paralelos y meridianos; pero si se hiciese esto, tendríamos que las piedras extremas empujarían al vacio (Fig. 40) toda vez que no tienen contrarresto por ser la planta semicircular, y así, lo que se hacía por los bizantinos era aparejar por planos meridianos, pero que pasasen por el eje horizontal del nicho, resultando forma radial (Fig. 41), y para evitar el escafilar el ladrillo al llegar al eje vertical, se hacia que las hiladas no fue-


Fig. 40


Fig. 41


Fig. 42


Fig. 43

sen al centro, y si á diversos puntos del eje (Fig. 42), ó bien que se enlazasen en espina de pez (Fig. 43), y aun se hacían diversas combinaciones de estos sistemas con cremalleras (Véanse las láminas).

Se derivan también de la bóveda esférica las trompas y las pechinas. Ya sabemos que en el templo de Minerva Médica (Arte romano) aparece de un modo rudimentario para pasar de la planta poligonal á la circular; también en Siria se ve algo de esto, pero en el arte bizantino fué donde se resolvió por completo el problema. Dos son los sistemas que se adoptaron: 1º empleo de nichos ó trompas; 2º empleo de pechinas.

En el primero solo se elude, por decirlo así, la dificultad, y queda reducido á pasar, primero de la planta cuadrada á la octogonal regular, y de esta á la circular.

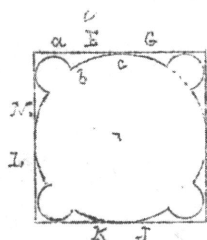


Fig. 44

Supongamos que se trate de la planta ABCD; para pasar á la EGHIJKLM se emplean los cuatro nichos indicados en la figura 44, y solo habría ya que salvar los pequeños triángulos abc, lo que se hacía fácilmente por medio de voladizos.

Una segunda solución se obtuvo por medio de trompas. Supongamos que se trataba de cubrir con una bóveda esférica la planta ABCD de forma cuadrada (Fig. 45); para pasar á la octogonal trazaban otra planta, también cuadrada, algo mayor, y enseguida los nichos correspondientes á ella como si fuese la planta que se quería cubrir, y de estos nichos tomaban solo las porciones rayadas, ó sean las comprendidas entre los pla-

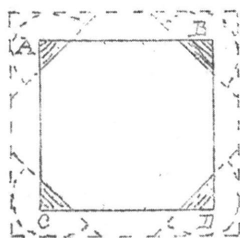


Fig. 45

nos AB, BD, BC y CA formaban así cuatro trompas con cuyo auxilio se llegaba á la planta octogonal. Toda vez que el contorno exterior del nicho no pasaba por los vértices del cuadrado ABCD, en alzado presentaba el perfil de las trompas un punto de rotura en

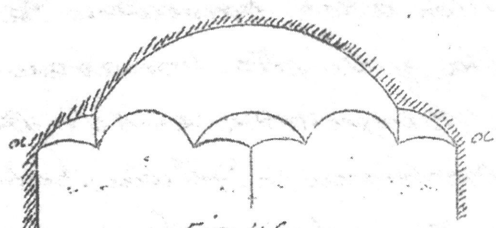
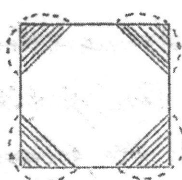
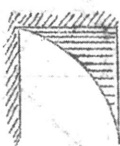


Fig. 46

a (Fig. 46); si por el contrario, se tomaban los nichos de modo que pasasen por los vértices del cuadrado de planta (Fig. 47) dicho punto a se convertía en uno de tangencia.


Fig. 47

Las trompas se aparejaban como los nichos, ya fuese en abanico ó mediante combinaciones de este sistema. También podían construirse tomando un arco de cabeza, y cubriendo de cualquier modo, con ayuda del mortero, el pequeño hueco que quedaba detrás, y aún podía tomarse este arco para directriz de un cilindro de generatrices horizontales que quedaba cortado por los muros según dos arcos de elipse, y que convertía la trompa de esférica en cilíndrica (Fig. 48). (Véanse las láminas.)


Fig. 48

La solución típica del arte bizantino para la cuestión que nos ocupa la encontramos en la pechina.....

Los rudimentos del sistema se ven ya en la Siria, donde se pasa á la planta circular por medio de piedras cruzadas que avanzan algo unas sobre otras. Pero donde el problema aparece resuelto por completo es en Santa Sofía de Constantinopla; allí las pechinas son tro-

ros de la bóveda esférica que tienen por base el círculo circunscrito á la planta. Sea esta el cuadrado ABCD (Fig. 49); para pasar á la circular abcd trazaban la semiesfera circunscrita, y de ella tomaban los triángulos esféricos proyectados en Aab, Bad, etc., que eran las pechinas. Podían haberse aparejado estas como trozo de superficie esférica, pero de ningún modo convenía así al procedimiento bizantino, y en su lugar se aparejaron por medio de planos que pasaban por una diagonal del cuadrado de planta, suprimiendo los lechos tronco-cónicos que aquel procedimiento exigía. Así, para la pechina Aad (Fig. 50) se hizo uso de planos que pasaban por la diagonal BD, y lo mismo para los demás; así eran reemplazados los lechos tronco-cónicos por otros planos.

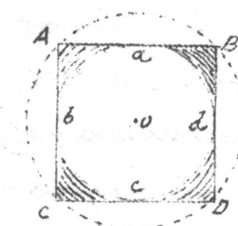


Fig. 49

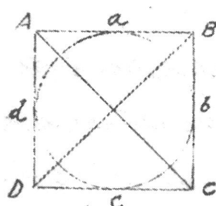
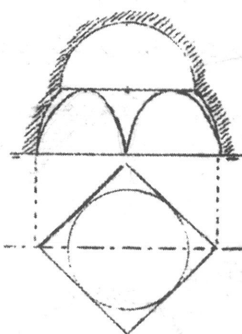
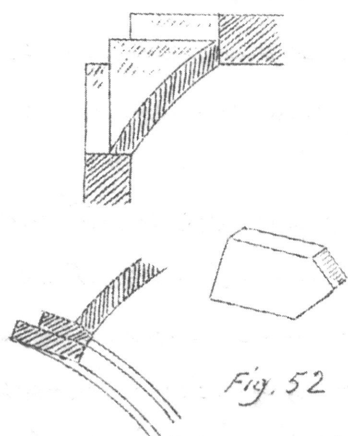


Fig. 50

En sección, una bóveda esférica sobre pechinas, se presenta en la forma indicada en la figura 51.


Fig. 51

Respecto al detalle de su construcción, solo diremos que la pechina venía á morir en el trasdós de los arcos torales; pero si observamos los ángulos que al dar secciones horizontales se van formando, vemos, á medida que nos elevamos que aquellos, rectos en un principio, se van haciendo cada vez mas agudos; se evitó esto, bien empleando ladrillos de formas especiales (Figura 52), ó variando el arco de planta de las pechinas, y se le componía


Fig. 52

con diversos arcos de círculo (ó curvas en general), que cumpliesen con la condición de ser normales á los arcos torales

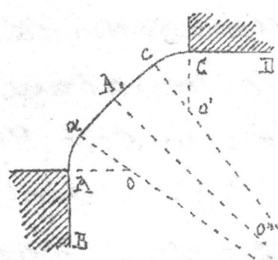
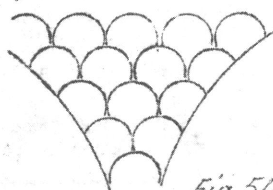


Fig. 53

AB y CD (Fig. 53); con los radios A y Co' se describían los dos arcos de círculo Aa y Cc, respectivamente, y enseguida, con centro en O'' un tercero que tuviese por radio O''A, determinándose así una curva que cumplía con las condiciones enunciadas. El resultado á que se llegaba era á no tener para la cúpula una superficie esférica, y sí una especial, cuya sección en el arranque es la que hemos determinado como queda expuesto. Esa irregularidad en algunas cúpulas bizantinas, por ejemplo, la de San Marcos, y á esto se atribuyen sus deformaciones, y no á otro orden de causas como se ha pretendido.


Fig. 54

Varios ejemplos de pechinas tenemos en Spalatro, aparejadas por medio de pequeñas trompas (Fig. 54) que van volando sucesivamente.

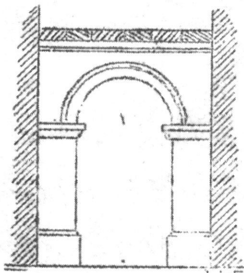
BÓVEDAS ARTICULADAS.

Sistema adintelado de la Siria.

Alcanzan las bóvedas articuladas todo su apogeo en la Edad Media; pero para encontrar su fundamento, es decir, la independencia entre sus elementos, es preciso remontarse á épocas mas antiguas y buscarle en la Siria.

Era esta una colonia de Roma, y por lo tanto, es natural que se dejara sentir la influencia de su arquitectura, que no pudo ser aplicada tal cual era por las especiales condiciones del pais. En la Siria abundaba la piedra y escaseaba la madera en tal extremo que hasta las puertas se hacían de aquel material, y se les daba movimiento alrededor de dos gorrones. Además, en dicho pais eran frecuentes los terremotos y no hubiese sido de ningun modo prudente emplear sistemas concrecionados que al menor movimiento se hubisen dislocado. Veamos cual fué el sistema que allí se adoptó.

Supongamos que se trataba de cubrir una nave; de trecho en trecho se volteaban arcos, (Fig. 55), trasdosándolos á nivel, y sobre ellos se apoyaban dinteles, con lo que quedaba formado el techo, obteniendose completa independencia entre sus diversos elementos, y si por un accidente cualquiera una piedra sufria algún movimiento, no ocasionaba esto la ruina total, cosa que hubiera sucedido de haberse empleado el sistema concrecionado. Es claro que la separación de los arcos habia de ser á la longitud de los dinteles, pero como esta no podía pasar de ciertos límites por las dificultades que ofrecia el arranque, transporte, labra y elevación de las piedras, se ideó aumentar la distancia entre los arcos por medio de una imposta que corria sobre ellos (Fig. 56) y cuyo vuelo permitía que los dinteles no llegasen á apoyarse precisamente sobre los mismos arcos (V. las láminas)



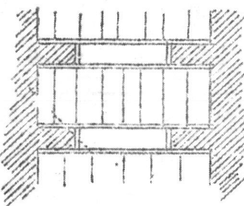


Fig. 55.

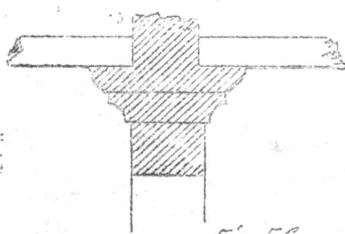
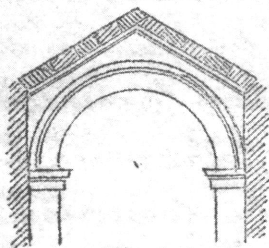


Fig. 56.

No siempre se trasdosaron los arcos horizontalmente; pues se hacía también en doble pendiente (Fig. 57) evitando los muros laterales el deslizamiento de los dinteles situados en la parte mas baja, y por consiguiente el de todos ellos. (Véanse las láminas).


Fig. 57

Ya tuvimos ocasión de decir que es también en los monumentos sirios donde se ven los primeros rudimentos de las pechinas, que se formaron por medio de voladizos (V. las láminas)

Bóvedas románicas.

Dividido el Imperio Romano en los dos de Oriente y de Occidente, toma la Arquitectura en cada uno de ellos diferentes rumbos; mientras que en Oriente llegaba á su apogeo la Arquitectura bizantina; se encontraban los pueblos de Occidente solo con ruinas de monumentos romanos; les era, pues, urgente construir, y construir de prisa. Como modelos no tenian mas que restos romanos; como influencia tenian la de Bizancio, que forzosamente había de ejercerse por las noticias que llegaban de los monumentos que allí se levantaban; como elementos de construcción disponían de sillarejo y mampostería, al par que de abundantes maderas.

El primer problema que se presentó á los constructores de la época románica fué el cubrir las naves de sus templos; que alcanzaban ya bastante luz, conforme exijían las necesidades del nuevo culto cristiano; Como no podían resolver la cuestión siguiendo los procedimientos

romanos por no contar con elementos adecuados, lo primero que hacen es cubrir las Iglesias con madera, aligerando los muros con arcos que llegan hasta los tirantes de las armaduras; pero bien pronto son frecuentes las noticias de siniestros causados por el fuego, lo que hace pensar á estos constructores en la necesidad del empleo de materiales pétreos, y la primera solución que se les ocurre es cubrir las naves con bóveda de cañón seguido; pero esto presentaba dos dificultades: la primera la de dar luces á la nave central, que tratándose de iglesia de tres naves, no tenía mas que segundas luces; y la segunda los empujes repartidos á lo largo de los muros, pues ya no se trata aquí de bóvedas concrecionadas, que solo producía cargas verticales desde el momento en que el mortero había fraguado, sino que se trata de bóvedas construidas con sillarejo. Trató de evitarse la primera dificultad por medio de lunetos, pero era difícil la construcción de la arista; y la segunda aumentando los espesores de los muros ó bien por medio de arcos resaltados (Fig. 58) colocados de trecho en trecho segun las secciones rectas del cañón, estableciendose una cimbra permanente, con la que el empuje se concentraba ya mas, pero este subsistía siempre y por tanto no podía darse como resuelto el problema. Era preciso, pues, seguir otro camino, y al efecto recuerdan los constructores de esta época la bóveda romana por arista, que da facilidades para la iluminacion, pues los huecos pueden abrirse casi hasta el vértice de los arcos, y además se concentran los empujes en los cuatro vértices de la planta, haciéndose mas fáciles de contrarrestar; á cambio de estas ventajas encuentran, en

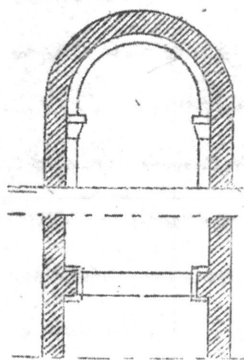
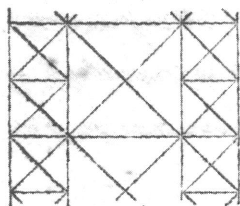


Fig. 58.

primer lugar que las aristas van á ser difíciles de construir, disponiendo solo de sillarejo, lo que es grave, toda vez que por las aristas es por donde se van á transmitir los empujes, y en vano se intenta salvar tal inconveniente combinando enlaces especiales en aquellas. (Esta dificultad se resolvió despues con la bóveda de crucería, en la que las aristas estan formadas por nervios resaltados). En segundo lugar, si la luz de la nave principal era doble de la de las bajas, resulta, teniendo en cuenta que se trata de bóvedas por arista sobre planta cuadrada, que á cada tramo de la alta corresponderán dos de las bajas (Figura 59) de modo que solo un pilar si y otro no van á recibir empujes de las últimas.


Fig. 59

Se trató de evitar esto por medio del arco fajón ab (Fig. 60) solución que se ve adoptada en la catedral de Lyon, y que da lugar á la bóveda llamada de seis compartimentos, formados por una especie de lunetos; pero esta bóveda es de mal efecto.

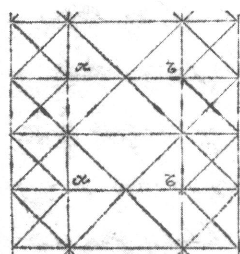
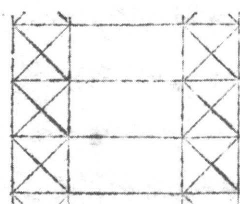


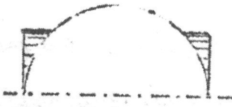
Fig. 60

En vista de tales dificultades se trató de resolver la cuestión abordándola resueltamente y proponiéndose cubrir con bóveda por arista la planta rectangular; y al efecto dividian la iglesia en tramos iguales al ancho de las naves bajas; las bóvedas que en estas se formaban (Fig. 61) no presentaban inconveniente por ser la planta cuadrada, pero no sucedia lo mismo con las de la nave alta, que eran rectangulares.


Fig. 61

Supongamos, por lo tanto, que se trataba de una planta rectangular; si los arcos fajón y formero eran de medio punto, es evidente que no tendrian la misma

montea, y puede decirse que la bóveda por arista no existía, y sí lunetos. Podía construirse empleando cerchas que

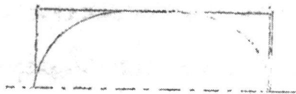

Fig. 62

marcasen las secciones transversales de los cañones, y sobre ellas apoyar listones que al cortarse hubiesen dado las aristas (Fig. 62) pero esto no podía ser solución definitiva, pues como hemos dicho la bóveda por arista no existía. Parece que podría solverse el problema elevando los listones que

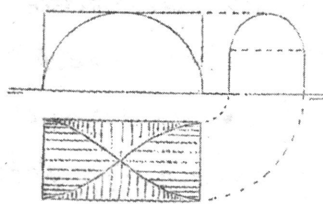

Fig: 63

han de apoyarse sobre la sección del arco formero hasta que alcancen á ser tangentes al camon del arco fajon; pero esto no hubiese dado mas que lunetos empinados. (Figura 63.)

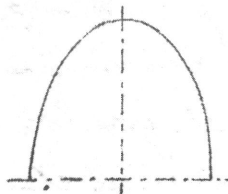
Siendo el inconveniente que á la vista tenemos la desigualdad de montea de los arcos, vamos á ver si se conseguía algo modificando esta; rebajemos el fajon haciéndole semieliptico (Fig. 64), y cuyo eje


Fig. 64

vertical sea igual al radio del formero; la cuestión quedaba así resuelta, pero esta bóveda es de mal aspecto, y el arco semielíptico produce mayores empujes, á la par que es mas difícil de construir.

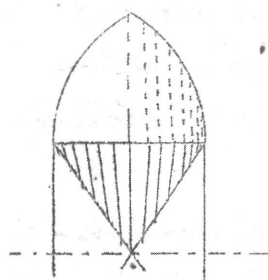

Fig. 65.

En vista de esto trataron de volver al arco de medio punto levantando el formero (Fig. 65), pero las aristas ya no eran planas y sí de doble curvatura, defecto que se hacia aun mas visible si se pintaba la bóveda. Entonces se buscó la manera de hacer planas las aristas, fijándolas de antemano, para lo cual, sobre la cimbra del arco fajon se marcaba por medio de un cordón teñido de rojo, la arista y á ella se acometían los listones de la cimbra del for-

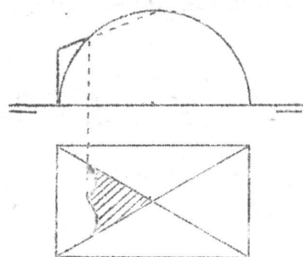

Fig. 66.

mero, resultando para este una elipse colocada sobre su eje menor (Fig. 66), cosa de muy mal efecto pero que no impide que esta solucion se halla adoptado en algunos templos.

En virtud de los inconvenientes enumerados se recurrió á otro procedimiento prescindiendo de superficies cilíndricas, para lo que se dividian los semidiagonales y el formero en el mismo número de partes iguales, y uniendo los puntos correspondientes por medio de rectas (Fig. 67), lo que facilmente podía hacerse en la práctica, constituian la cimbra; pero observaremos que así resultaba una superficie rara, y aún mas si el formero era de medio punto, peraltado necesariamente para ganar el vértice del fajón, si bien esto se resolvió haciendo dicho formero apuntado.


Fig. 67

Así es que no quedaron aun satisfechos de esta solución los constructores de la época y volvieron á tomar la cuestión en su origen; supongamos, pues, que se tenia una planta rectangular, en la que los arcos fajón y formero son de medio punto y por tanto de desigual montea. Dividian dichos arcos en el mismo número de partes iguales y unian los punto correspondientes. (Fig. 68) con lo que se formaba una superficie rara, pues efecto de la diferencia de luces, las generatrices de la bóveda transversal que así se obtenia penetraban en el cañon longitudinal, formándose una especie de abolladura ó bombeo, que en la figura corresponde á la parte rayada; hubiérase podido evitar esto recreciendo la cimbra en esa parte por medio de tierra ó cascote


Fig. 68.

menudo; pero este recurso aumentaba la carga y no era una solución aceptable. Lo que podía hacerse era unir los vértices (Fig. 69) por medio de generatrices curvas ab, ac, ..., pero entonces el enlistonado de la bóveda resultaba imposible.

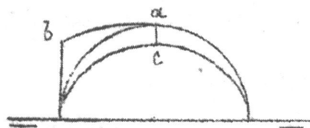


Fig. 69

En vista de todo esto se intentó seguir otro procedimiento: que los arcos formero, fajón y diagonal fueran de medio punto, uniéndolos por generatrices curvas, con lo que se tenían bóvedas con empino y bombeo; las cimbras en este caso desaparecen y solo quedan cerchas colocadas según los seis arcos.

Esta solución es definitiva y resuelve perfectamente el problema de la iluminación. Admitió, sin embargo, diversas variantes, entre otras la de hacer los arcos apuntados.

Al construir esta clase de bóvedas hubo de tenerse en cuenta también la clase del material empleado: si se trataba de mampostería era preciso establecer cimbras, y si era la fábrica de ladrillo se hacía bastante bien al aire. Añadiremos que si no se quería bombeo había que levantar el arco formero hasta que la tangente en su vértice lo fuese también en el del fajón; precisaba, por tanto, apuntar los arcos.

Hasta aquí llegan las soluciones que da el arte románico y que pueden resumirse en las tres siguientes:

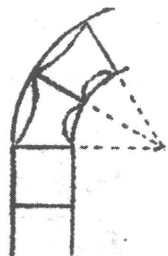
1ª Arista saliente con bombeo.

2ª Arista entrante.

3ª Bóveda vaída, de la que trataremos más adelante.

Es también digna de estudio la solución dada para cubrir el deambulatorio ó girola de planta anular

que se extiende por detrás del ábside de las iglesias, y es continuación de las naves bajas. La primera solución que se ocurrió fué cubrirle con bóveda anular y formar lunetos en sentido transversal (Figura 70); no satisfizo, por las dificultades de construcción, este sistema de iluminación, y en consecuencia se ensayó otro sistema, que consistía en sustituir los lunetos por superficies cónicas que tenían su vértice sobre la la línea ab de arranque del arco a.cb (Figura 71), generador de la superficie cónica, pero entonces el cruce de las aristas no estaba en el centro de cada trapecio, á no ser que se adoptasen aristas de doble curvatura (Fig. 72) También se empleó otra solución que consistía en formar un cono, cuya generatríz correspondiente al vértice fuese horizontal; pero entonces era necesario levantar los capiteles de la parte interior, de no construir un trozo plano mn sobre ellos (Fig. 73). Lo mas práctico fué fijar desde luego los arcos, ya trazando las diagonales del trapecio mixtilíneo, ó bien tomando el centro de figura y uniéndole con todos los vértices; despues dividir los arcos en partes iguales y unir los puntos correspondientes. (Fig. 74).


Fig. 70.

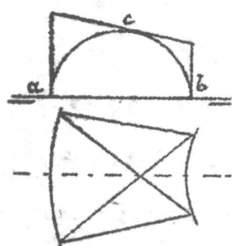
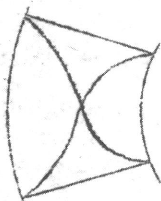


Fig. 71


Fig. 72

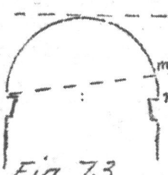
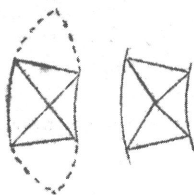


Fig. 73


Fig. 74.

BÓVEDAS DE CRUCERÍA.

Á la par que los tanteos anteriores se hicieron otros siguiendo diferente camino. Para cubrir un rectangulo se valieron algunos constructores de la bóveda vahída, y de la cúpula sobre pechinas otros, pero esta no asentaba bien mas que sobre planta cuadrada. Ejemplo de ello tenemos en la catedral de Angers. La solución mas persistente fué la bóveda vahída, á la que á veces se adosaron nervios salientes que no desempeñaban oficio constructivo alguno y que tal vez se emplearon solo para seguir la tendencia de aquella época.

Aparte de estas soluciones resulta que los constructores de entonces se encontraron con la bóveda románica, pero con el inconveniente de la mala trabazon del sillarejo en las aristas, y le evitaron resaltando estas formando arcos ó nervios, de modo que disponian seis arcos: dos fajones, dos formeros y dos diagonales, construidos independientemente, haciendo una red cuyos huecos se rellenaban luego con los témpanos; para tener aún mas libertad en la elección de luces adoptaron el arco apuntado, llegándose así á cubrir toda clase de plantas, regulares é irregulares, hasta el triángulo, que es muy difícil de cubrir por otros sistemas.

La regla general para la construcción, era: unir el centro de la figura, real ó aproximado, con los vertices; según estas líneas construir nervios, aparte de los que forman el contorno poligonal, y los espacios triangulares que que-

daban se cuajaban con la plementería, dispuesta, como luego veremos, de diferentes modos.

Las ventajas que presentaba la bóveda de crucería eran grandes; en primer lugar se llevaban los empujes á puntos determinados mucho mejor que en la bóveda por arista sencilla; en segundo lugar la construcción era fácil, toda vez que para los témpanos no hacía falta cimbra, y sí cerchas, según mas adelante indicaremos; y, por último, siendo los arcos apuntados, quedaban las cargas convenientemente repartidas, pues sabido es, que al romperse un arco de medio punto, la clave cae hácia el interior, por lo que conviene que esté cargado en los riñones, como sucede en las bóvedas por arista, en las que los témpanos se pueden suponer divididos en pequeños arcos que van disminuyendo á medida que se elevan hácia el vértice del diagonal (Fig. 75); por el contrario, en un arco apuntado la clave tiende á salir por la parte superior, que es donde debe cargarse, y en este sentido conviene la bóveda de crucería, en la que los témpanos pueden suponerse divididos en arcos cuya longitud aumenta á medida que se aproximan al vértice del diagonal (Fig. 76).

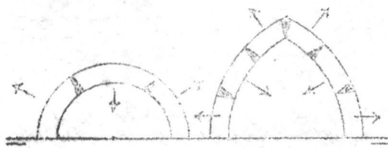




Fig. 75.



Fig. 76.

Las bóvedas de crucería presentan notables variantes según las regiones donde han encontrado su desarrollo; así es que dividiremos su estudio en tres partes, que corresponden á las bóvedas de crucería francesa, inglesa y alemana.

Bóveda de crucería francesa.

Sea la planta cuadrada ó rectangular ABCD; (Fig. 77) por medio de dos arcos fajones AB y CD y de dos formeros AD y BC, y con el auxilio del diagonal AC y los dos semidiagonales BO y DO, se divide dicha planta en cuatro compartimentos triangulares que se rellenan con los témpanos. Por lo tanto, los dos elementos que tenemos que analizar primeramente son arcos ó nervios y témpanos; y como quiera que los primeros han de ser sostenes de los segundos, es racional que empecemos por estos, pues, como ya tuvimos ocasión de decir, mal se puede analizar un elemento que va á sostener á otro, sin conocer las condiciones del segundo. Comencemos, pues, por los témpanos.

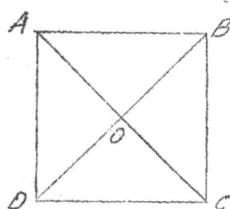


Fig. 77.

A. Témpanos. Ya sabemos que estan destinados á cubrir los compartimentos triangulares que dejan los nervios.

De dos maneras pueden engendrarse tales superficies: 1ª por una curva situada en planos normales á los arcos fajones ó formeros, de modo que vengan á estar las juntas en los planos de la curva generadora, es decir, que siendo la planta ABCD (Fig. 78) una serie de planos normales al fajón AEB-A'E'B', cortarán al diagonal en varios puntos, que, referidos á la planta, así como los de la división del fajón, nos darán la proyección horizontal de las juntas. Con esta solución

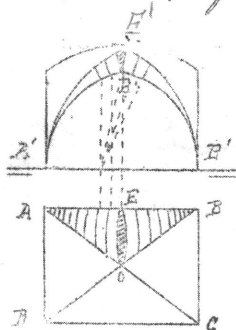
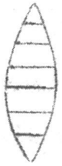
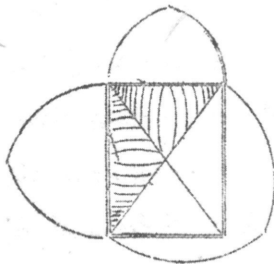


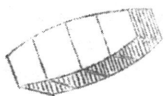
Fig. 78

se presenta un inconveniente: y es que en el vertice se forma un huso que queda en hueco, dificultad que á veces se ha resuelto, como en las naves bajas de la catedral de Colonia, por medio de una serie de mampuestos transversales (Fig. 79); pero este procedimiento no es aceptable.


Fig. 79.

El segundo modo de generación consiste en dividir los arcos fajón, formero y diagonal en partes iguales, é iguales á su vez al grueso de los sillarejos y unir los puntos de división por medio de una curva (Fig. 80) La superficie de junta podía ser cilíndrica, engendrada por la normal en el punto de división del fajon ó formero, pero en este caso no sería normal á la superficie de intradós; para que lo sea se puede tomar como superficie de junta la engendrada por las sucesivas normales á dicha superficie á lo largo de una junta, es decir una superficie alabeada. Si una de las hiladas se desarrolla (aunque sea hipotéticamente, toda vez que no son desarrollables, se verá que se presenta en forma de huso debido al bombeo (Fig. 81); para que no resulten hiecos en la parte media el albañil tiene cuidado de elegir los sillarejos mas pequeños para empezar y los mayores para el centro. El témpano se voltea al aire valiéndose de la cercha corrediza (Fig. 82) que se cuelga verticalmente de los arcos por medio de dos pequeñas escuadras en que termina.


Fig. 80


Fig. 81

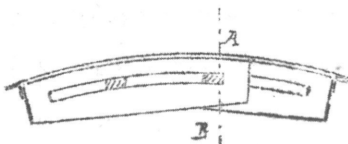


Fig. 82

El bombeo de los témpanos es de

gran utilidad puesto que merced á él, y sabiendo disponerle, se pueden llevar las cargas donde mas conveniente sea (Fig. 83); además, si se hace que ese bombeo dibuje la curva de presiones, se puede reducir en gran parte el expesor de los tempanos, y, en efecto, se ven algunas bóvedas en las que dicho expesor ha quedado reducido á 10 ó 12 centímetros.

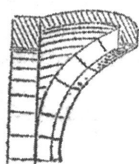


Fig. 83

B. Arcos. El diagonal se hace generalmente de medio punto, los fajones y formeros apuntados; los últimos con centros algo mas elevados para que el vertice no quede tan bajo. Por regla general se trazan estos arcos con el mismo radio, lo que da gran facilidad para la labra de las dovelas, toda vez que una misma plantilla sirve para todos los arcos; pero si conviene que los vértices esten á la misma altura, bien sea para recibir un piso ó por cuestion de la armadura, pudiendo prescindirse de la igualdad de los radios. Hay, pues, completa independencia y libertad en el trazado de los arcos.

Lo que precede, respecto á la diferencia de monteas, esplica los grandes lienzos que algunas veces se ven por encima del arco formero hasta llegar á la cornisa, y que en los monumentos romanicos aparecen entretenidos con arquerias ciegas (Fig. 84)

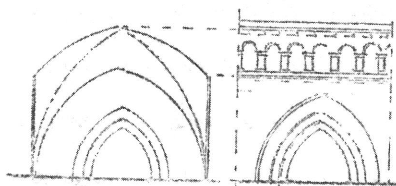


Fig. 84

Dimensiones y despiezo de los nervios. Los nervios se componen sencillamente de dovelas, teniendo cuidado de hacer en los encuentros clave común. La seccion puede variar, y así ser la A (Figura 85), que va acompañada de dos especie de salmeres para recibir la plementería, ó bien la B, que termina

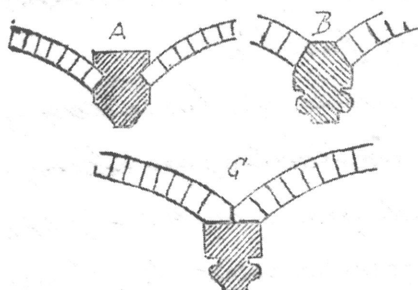


Fig. 85

en un trasdos por medio de dos caras inclinadas, ó, finalmente, la C, dispuesta para que se crucen los sillarejos de los tímpanos. Tal sea una ú otra disposición la que se adopte, la sección del nervio podrá inscribirse en la plantilla rectangular de las dovelas, y debe estar dispuesta de modo que la mayor dimensión sea en el sentido del radio (Fig. 86) puesto que en este sentido es el en que va á desarrollarse la curva de presiones, bastando que la dimensión transversal sea suficiente para resistir las deformaciones laterales que en el arco pudieran producirse. Las uniones deben hacerse con juntas gruesas de mortero para que haya posibilidad de movimientos, y nada de emplear tachos metálicos.


Fig. 86

Debe procurarse que las claves sean de gran peso porque esto contribuye á la estabilidad, tratandose, como en el caso presente, de arcos apuntados, y de aquí el que, generalmente, se decoren las claves con grandes florones.

Respecto á los arranques de lo arcos hemos de observar que, por lo menos, arrancan de un mismo punto tres (fajón, formero y diagonal), y ha de procurarse que haya entre ellos una verdadera compenetración para que el conjunto quede inscripto en el ábaco del capitel. Las primeras hiladas se disponen horizontales (y á ser posible de una sola pieza las diferentes porciones de arcos) y así se continúan hasta llegar á un ángulo agudo inadmisible por ser menor que el de rozamiento.

Conviene que los arcos sean de igual radio, porque así se separan todos á la vez, pero no siempre es esto posible.

Hay que tener cuidado con los arranques de los arcos cuando estos vienen á unirse á elementos verticales; en efecto, si adoptamos la disposicion A (Fig. 87), el pilar cargará sobre los arcos, tendiendo á producir el efecto de una cuña. Debe adoptarse la disposición B.

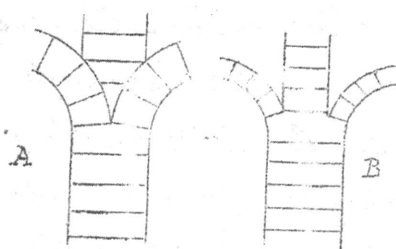


Fig. 87

Cuando se trata de bóvedas de ladrillo pueden emplearse diversos métodos para el enlace de los témpanos con los nervios (Fig. 88); las disposiciones 2ª y 3ª presentan la particularidad de que, merced á la colocación especial que se da á los ladrillos, se forma una especie de nervio interior que refuerza la arista. Algunas veces no aparecen nervios en estas bóvedas, pero es porque están embebidos en los témpanos y no se manifiestan al exterior.

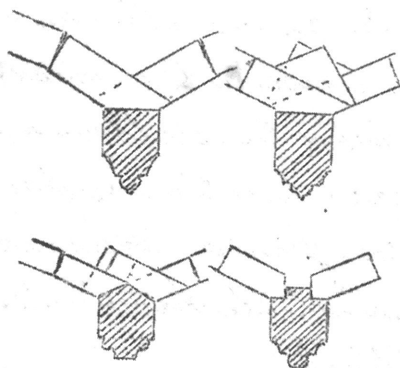


Fig. 88.

Bóvedas escafiladas. Si se quiere construir una bóveda por arista empleando el ladrillo y sin hacer uso de nervios, según las aristas es necesario escafilar el ladrillo, con lo que este pierde parte de sus buenas condiciones, precisamente en el punto donde mas falta hace la resistencia. Para evitar esto pueden construirse bóvedas en las que el ángulo de la arista sea siempre recto, para lo que basta que los témpanos sean superficies cónicas, cuyas generatrices esten inclinadas á 45°, y que tengan por directrices las aristas y los arcos de cabeza. Sea la plan-

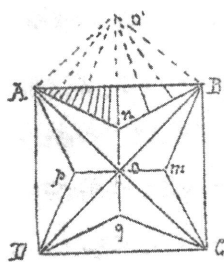


Fig. 89

ta ABCD (Fig. 89); tomemos el arco AB por directriz de un cono cuyas generatrices tengan, como ya hemos dicho, una inclinación de 45°, y del cual será el vértice el punto O; hagamos otro tanto con los semidiagonales OA y OB, llegando así, á obtener por intersección las líneas An, Bn, On, con lo que el témpano AOB quedará cubierto sin necesidad de escafilar el ladrillo. Pero puede suceder que los puntos m, n, p, q, vengan mas altos que el O, en cuyo caso se introducen las aristas mn y pq (Fig. 90), que á su vez se toman por directrices de nuevos conos, formándose de este modo una bóveda con hermosos contrastes de luz y sombra (Fig. 91)

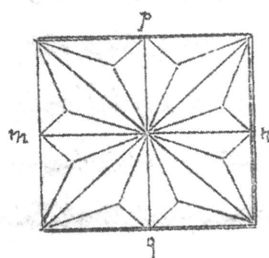
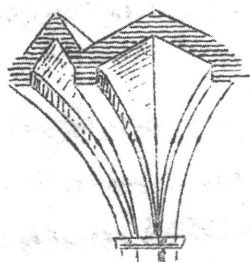


Fig. 90


Fig. 91.

Variantes de la bóveda de crucería francesa - Tuvo pocas, y las que se emplearon fueron motivadas principalmente por necesidades de la planta. Podía ocurrir que los témpanos triangulares que resultan fuesen de grandes dimensiones, y para subdividirlos introdujeron nuevos arcos, AE, BE, BF, CF, etc., (Fig. 92) llamados terceletes, y las ligaduras OE, OF, OG y OH, resultando de este modo las llamadas bóvedas estrelladas.

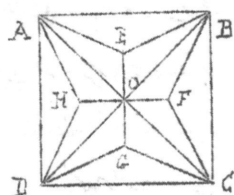


Fig. 92

Tampoco dejan de presentarse problemas en el caso de un ábside; sabemos que la planta de este es un polígono; pues bien, pueden ocurrir dos cosas: ó el centro de dicho polígono cae en el interior del ábside y fuera, por lo tanto, de los tramos de la nave (Figura 93, A), en cuyo caso nada de particular se presenta,

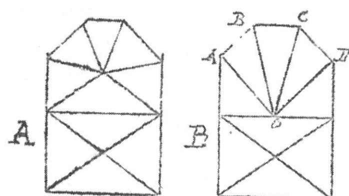


Fig. 93

ó bien dicho centro viene sobre uno de los arcos fajones de la nave (Fig. 93, B), y ocurrirá entonces que al punto O, vértice de dicho arco, van á parar los OA, OB, OC y OD, que le empujarán puesto que no tienen ningún elemento de contrarresto; para evitar esto lo que se hizo fué tomar el primer tramo de la nave y cubrirlo con media bóveda de las llamadas de seis compartimentos (Fig. 94), y por este medio el punto O tiene ya el debido contrarresto. Finalmente, cabe aun otro procedimiento, que consiste en introducir una ligadura que vaya á parar al punto O y dos terceletes (Fig. 95)

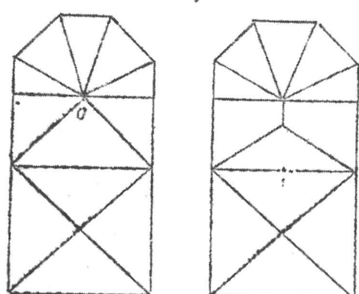


Fig. 94 Fig. 95

En el caso de presentarse una nave alta y otra baja ya sabemos que si se toman en cada una tramos cuadrados resulta un punto a con empujes desiguales (Fig. 96) y que este inconveniente se salvaba construyendo un arco fajón, formándose así una bóveda especial (denominada de seis compartimentos). La generación de los témpanos se hacía dividiendo el arco diagonal ó espinazo y el ms en el mismo número de partes iguales.

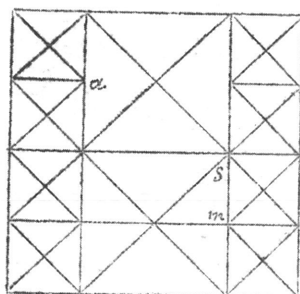


Fig. 96.

Aparte del caso del ábside, en que ya sabemos se aplica, la bóveda de seis compartimentos puede también ser solución para un crucero. Supongamos, en efecto, que se trata de una iglesia de nave alta y dos bajas; en los puntos a, b, c, d (Fig. 97) nada

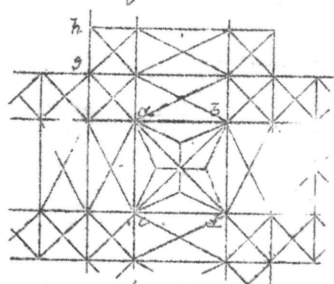


Fig. 97.

ocurre que por ahora llame nuestra atención, pero no así en el punto e, toda vez que los arcos de la nave alta empujan al vacío; verdad que podía establecerse un arbotante, pero su contrafuerte tenía necesariamente que tapar el ventanal que debe abrirse en gh, y en vista de tal dificultad se ideó tomar los dos primeros tramos de la nave alta y cubrirlos con bóveda de seis compartimentos, porque de este modo en el punto E no se producen mas empujes que los del arco EF, facilmente contrarrestados con un pequeño botarel.

Para terminar diremos que las variantes de la bóveda de crucería francesa no se encuentran hasta los siglos XIII y XIV, es decir, que hay que buscarlas en el periodo de la decadencia.

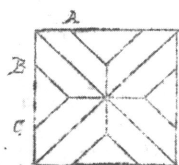
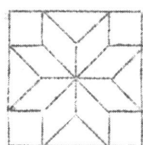


Fig. 98


Fig. 99.

Estas variantes quedaron reducidas á agregar nervios (Fig. 98) que necesariamente producen empujes no contrarrestados en los punto A, B, C, D, ... La figura 99 da á conocer otra variante análoga á la anterior.

Bóveda de crucería inglesa

Tienen su origen en la bóveda vahida, circular ó elíptica, á la que primeramente se adosaron nervios; pero viendo las ventajas que estos ofrecian, muy pronto se pensó en hacerlos de modo que formasen parte de la estructura de la fábrica.

En su principio estas bóvedas se construyeron de madera, formándose los témpanos con listones ó tablas

estrechas, resultando así estos témpanos casi planos; los nervios los hicieron también de madera, y bien pudo ser la causa de ello la abundancia de aquel material, las condiciones del clima ó la habilidad de los carpinteros; pero sea de esto lo que quiera, el resultado es que cuando se construyeron las bóvedas de crucería haciendo uso de la piedra, se continuó con los témpanos casi planos, haciéndose su generación por medio de planos normales á los arcos diagonales que pasaban por los puntos resultantes de dividirlos en partes iguales. Así es que, según las líneas EF y GH, (Fig. 100) se formaron espinas de pez que exigían para su construcción la colocación de cerchas, pero se pensó luego que en lugar de ser la cercha provisional fuese permanente y este es el origen de los arcos EF y GH. Sin embargo, si la luz llegaba á ser de alguna consideración resultaban los témpanos muy grandes y casi planos; de aquí la necesidad de apear, por decirlo así, los arcos antes mencionados por medio de los AR, BR, etc., y al empleo de uno sucedió el de otros varios, hasta el punto de arrancar de cada vértice verdaderos racimos de arcos (Fig. 101), que, como veremos mas adelante, necesitan ligaduras y contraligaduras para acodalarlos entre sí.

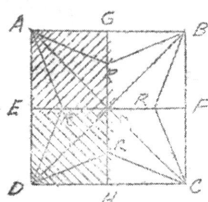
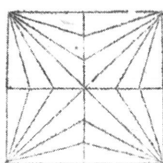


Fig. 100


Fig. 101

Trazado de los nervios. Pueden seguirse varios sistemas: 1º tomar el mismo radio para todos los arcos, pero entonces las diversas claves no vendrán á la misma altura; 2º emplear distintos radios, en cuyo caso, sobre exigir esta diversidad de plantillas, no habrá tanta facilidad para la construcción de los témpanos en los arranques, por

cuyas razones se apeló al procedimiento 3º, que consiste en trazar los arcos con el mismo radio, pero subiendo los arranques, lo que, á mas de complicado es de mal efecto; 4º en vista de los inconvenientes enumerados se optó por utilizar para arco diagonal un arco de círculo, ó mejor dicho rebajado, AB (Fig. 102) y de este tomar diversas partes para los demás arcos AC, AC'; etc; pero tampoco en este caso vienen los vértices á la misma altura aunque las diferencias no son grandes; consiste el 5º procedimiento en arrancar los arcos con el mismo radio (Figura 103) y luego trazar otros tangentes que vengan á ganar la altura necesaria.

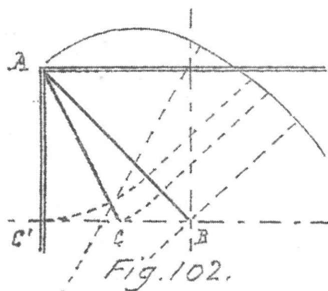


Fig. 102.

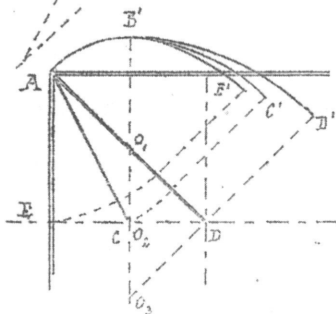
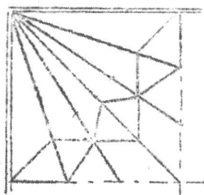
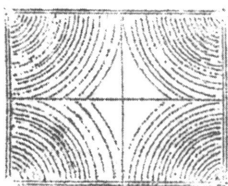


Fig. 103

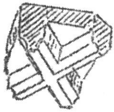
Con los dos últimos procedimientos ya no resultan arcos apuntados, y sí rebajados, siendo muy necesarias las ligaduras y contraligaduras combinadas por los constructores de forma que resultaba una especie de abanico (Fig. 104) y de ahí el nombre que tomaron estas bóvedas, y se llamaron de trompeta las construidas según el 4º procedimiento, toda vez que venían á ser de revolución alrededor de los ejes verticales, mientras que las del 5º sistema solo eran de revolución en los arranques, pudiendo cubrirse la parte central con bóveda plana (Fig. 105)

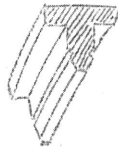

Fig. 104


Fig. 105

Como vemos, la crucería va perdiendo su caracter, pero todavía se nota esto mas

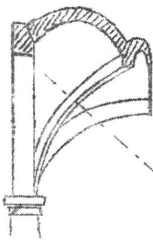
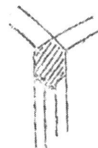
al observar las claves comunes de los arcos; en efecto, del sillar que se tome para labrar la clave será preciso vaciar las partes intermedias entre los nervios, pero no era esto lo que se hacía, pues no se vaciaban por completo sino en su parte inferior, dejando la superior para formar parte de los témpanos (Fig. 106). Lo mismo se hizo en las dovelas de los nervios (Fig. 107) y cuando estos eran muchos, resultaba que las partes de plementería que de esta manera acompañaban á los arcos se tocaban, habiendo desaparecido de tal suerte la independencia entre arcos y témpanos, toda vez que resulta una bóveda despiezada.


Fig. 106

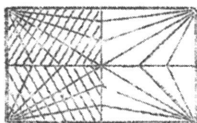

Fig. 107

Bóveda de crucería alemana

Tienen su origen como las anteriores, en la bóveda vahída. Sus tempanos estan engendrados por curvas situadas en planos normales al diagonal, pero presentando la particularidad de que la sección da un punto de retroceso en el que corresponde á dicho arco diagonal (Fig. 108), detalle que establece la diferencia entre estas bóvedas y las inglesas, en las cuales no existe ese retroceso.

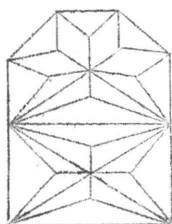


Fig. 108

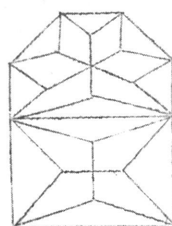
La construcción de los témpanos se hace emperando por los arranques en los que los manpuestos van apoyándose sobre el trasdós de los arcos (Fig. 109), pero se llega á


Fig. 109

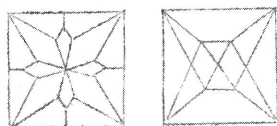
un punto á partir del cual se empieza á formar la llamada espina de pez; correspondiéndose con esta se establece la ligadura ó espinazo, aunque no con tanta necesidad como en las bóvedas inglesas, en las que los témpanos son casi planos, lo que no sucede en las que describimos; aunque no son precisos, se emplean arcos terceletes, que en realidad solo sirven para complicar la construcción.

El afan de buscar complicaciones en todo lo posible era el caracter distintivo de los constructores alemanes, y llevados de él hicieron las mas estrañas combinaciones. En un ábside, por ejemplo, despues de haber construido los arcos principales, añadian ligaduras y arcos secundarios, llegando á obtener el resultado que se indica en la figura 110. Pero bien pronto comprendieron que era excesivo el numero de arcos y que se hacia preciso suprimir algunos, pero no suprimieron los últimamente introducidos, sino los principales, quedando entonces la bóveda como aparece en la figura 111, quedando reemplazados, por decirlo así, los arcos diagonales por sus componentes.


Fig. 110


Fig. 111.

Como ejemplo de esto, tenemos las bóvedas estrelladas, (Fig. 112), formando caprichosos dibujos y combinaciones.


Fig. 112

De este modo se llegó á emplear tal número de arcos, que los témpanos ya no se engendraban como hemos dicho, sino que se hacian con simples losas colocadas de arco á arco. Persistiendo en el propósito de eliminar arcos se suprimieron los fajones, y se construyeron los componentes de los diagonales, formándose así una clase de bóvedas

que se denominaron reticuladas, constituidas por una verdadera red de arcos entre los cuales no se hallan los fajones, pero, sin embargo, todavía conservan los demas cierta simetría con relación á la línea de espinazo. Vamos á ocuparnos de estas bóvedas.

Todos los arcos aparecen trazados con el mismo radio; conservándose, como hemos dicho antes, la simetría de los apoyos con relación á la línea MN de espinazo; se hace el arco bm de medio punto siendo su radio ba_1, y los demas arcos serán partes de él; los arcos sc y cd no pueden ser continuados, pues hay que hacer dos lunetos en los triángulos mrs y mhi, y el procedimiento que se emplea es unir el punto c con el m por medio de un arco que no podrá ser del mismo radio, pero, caso de convenir que lo sea, se traza solo hasta el punto K, y este se une con el v por una vertical, quedando el espacio rnckv compuesto de los arcos de la misma circunferencia rn, nc, cK, rv, y la vertical Kv, pero como de este modo sería dificil de cubrir la bóveda, para evitar este inconveniente lo que se hace es unir r con K por un arco del mismo radio que los demás, y entonces el espacio que ha de cubrirse queda dividido en el rKcn y en el rKv, que viene á ser una palomilla que se cala ó decora. El luneto resulta así cilíndrico ó se hace que pertenezca á una superficie bombeada apoyándose en rK, rm y mc.

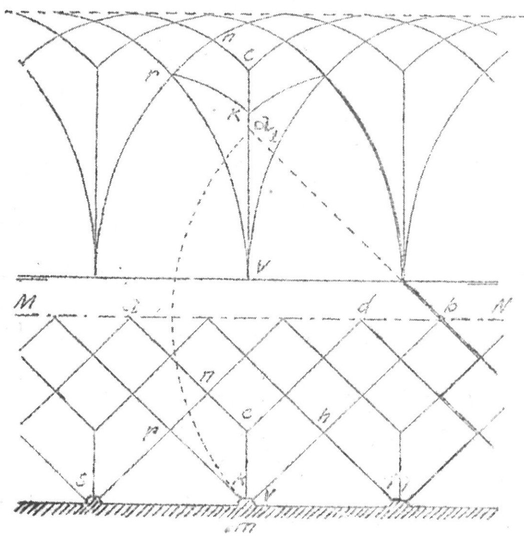
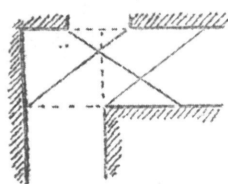


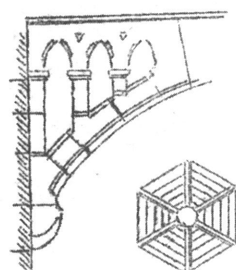
Fig. 113.

En las bóvedas reticuladas quedaba aún, como ya

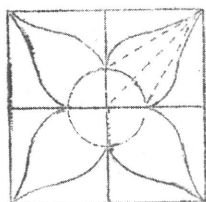
dijimos, correspondencia entre los apoyos, pero al fin se llega á prescindir de ella estableciéndose una irregularidad poco recomendable. Así, por ejemplo, en el caso de un claustro con una puerta enfrente del vértice de la pared interior, en lugar de hacer lo que se indica por líneas de puntos en la figura 114, se hizo lo que está señalado con trazos llenos para evitar que los arcos cargasen sobre el vano de la puerta.


Fig. 114

Mas adelante, y correspondiéndose con cada nervio de la bóveda, se adicionó otro inferior, calándose columnillas de uno á otro; pero luego se estableció debajo de la bóveda que lleva la plementería otro sistema de arcos que no están á plomo con los primeros. (Véanse las láminas) Todavía hicieron mas los constructores alemanes, que fué pasar de la palomilla curva por su trasdos á la recta, y entonces el techo se convirtió en plano.


Fig. 115.

Tuvieron cuidado de aprovechar el calado de las palomillas para reforzar los ángulos, y algunas veces este mismo calado es una arquería para lo cual es preciso cortar las dovelas de cierto modo con objeto de sobre ellas puedan asentarse las columnillas. (Fig. 115)


Fig. 116.

Aún hay otros tipos de bóvedas de crucería alemanas, y que se obtienen sustituyendo los arcos por nervios de doble curvatura y puede decirse que cada nervio reemplaza al arco que se hubiera trazado según su cuerda (Fig. 116). En estas bóvedas los nervios son intersecciones de dos cilindros, uno vertical y pro-

yectante del arco, y otro que se apoya sobre los que vienen á ser diagonales.

De estas bóvedas se encuentran ejemplos notables, lo mismo en las grandes catedrales que en pequeños templos. Digna de especial mención es la que cubre el ábside de la iglesia de la Latina en Madrid.

BÓVEDAS DEL RENACIMIENTO

Al iniciarse el Renacimiento ó resurrección de las artes paganas fueron reproducidas la forma, disposición y estructura de los diversos monumentos romanos, y, por tanto, las de sus bóvedas; pero hemos de observar que ya no se contaba con los mismo elementos de que el constructor romano podía disponer; habíase, en efecto, de emplear la piedra tallada con sus muy graves inconvenientes referentes no solo á gasto y empleo de tiempo, sino también á los empujes que en tal sistema se habían de producir, empujes tanto mas de tener en cuenta, cuanto que los apoyos, copiados de los que se emplearon en las construcciones romanas estaban dispuestos para recibir solamente las cargas verticales que el sistema concrecionado producía. Por lo demás, en su parte constructiva las bovedas del Renacimiento no presentan dificultad ninguna; únicamente en la cúpula se hizo algo que no era tan directamente copiado como vamos á ver.

Recordemos que Roma solo se empleó la cúpula sobre planta circular, á no ser en casos excepcionales,

como en el templo de Minerva Médica, por ejemplo; luego en el arte bizantino se hicieron sobre planta poligonal, empleando ya las pechinas, pero tal sistema no alcanza su completo desarrollo hasta la época del Renacimiento. Es muy digno de estudiar como este Arte resolvió el problema de amparar los riñones de las bóvedas, y para ello vamos á examinar el procedimiento seguido en algunos monumentos de dicha época.

Cúpula de Santa María de Nocera. Se construyó en el siglo sexto; está sostenida por un anillo de dobles columnas y en lugar del macizado que se empleó en el Panteón para reforzar los arranques de la cúpula, lleva, espigones colocados de trecho en trecho y en el sentido de los radios (Fig. 117). De este modo quedó resuelto el problema de emplear la menor cantidad posible de material sin alterar la estabilidad de la cúpula, condición que ciertamente perdería esta cuando la curva de presiones se saliera del perfil. Este principio de construcción se desarrolló con mayor importancia aún en otro monumento, también del siglo VI, que es el:

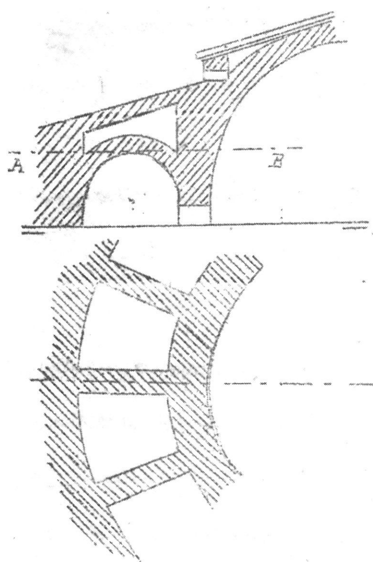
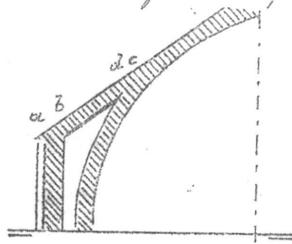


Fig. 117.

Baptisterio de San Juan de Florencia. De planta octogonal regular, es su cúpula una verdadera bóveda en rincón de claustro, en la que cada témpano forma con el opuesto parte de una misma superficie cilíndrica; las secciones hechas por el eje dan arcos apuntados.

En cada uno de los ocho vértices de la planta existe un nervio, especie de contrafuerte, que sirve de unión á las dos hojas de que la cúpula se compone (Fig. 118) y que están además enlazadas por otros espigones secundarios, correspondiendo dos á cada lado del polígono de planta, y que acompañan la cúpula hasta llegar á las bóvedas en bajada, análogas á las abcd que, sostenidas por ellos van á morir en el trasdós de la cúpula. De esta manera la curva de presiones queda en condiciones perfectas de estabilidad, toda vez que puede venir alojándose en los huecos interiores.



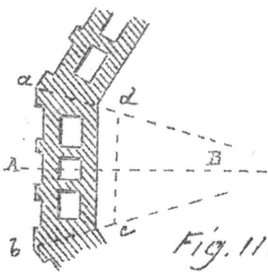
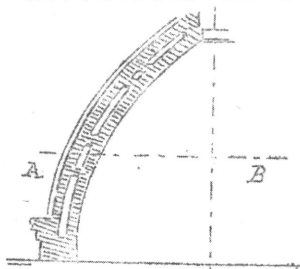
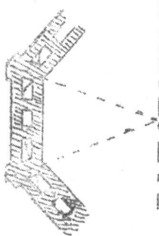


Fig. 118

El monumento de que acabamos de hablar sirvió como modelo para la construcción de la cúpula de

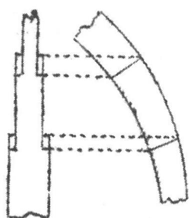
Santa María de las Flores en Florencia. Se comenzó esta obra en el siglo XIII y quedó terminada en el XVI. En este monumento se presenta ya completamente resuelto el problema de la doble cúpula, que se levanta sobre un tambor octogonal macizo, provisto de óculos ó ventanas circulares; la circunferencia inscrita en la base de este tambor mide 42'60 metros de diámetro. Las dos hojas de la cúpula, cuyo radio es también en la base es de unos 26 metros, están separadas entre sí á distancia casi invariable, midiendo la interior 2m26 de espesor, y la exterior 1m50; enlazan una con otra 24 espigones, uno en





cada ángulo y dos intermedios en cada lado (Fig. 119), llegando todos hasta el lucernario. De trecho en trecho hay anillos horizontales, formados con pequeños arcos botareles colocados horizontalmente también, contribuyendo á la perfecta sujeción del conjunto; con tal sistema la construcción es practicable y puede recorrerse desde su base hasta el lucernario; es, en resumen, una construcción celular que aligera las masas y coloca convenientemente la curva de presiones. Como último dato añadiremos que la linterna en que termina la cúpula tiene en total unos 30 metros de altura.

Basílica de San Pedro en Roma. Se hicieron para esta iglesia dos proyectos; uno debido á Miguel Angel, y el otro á Fontana, que es el que se llevó á ejecución en en el siglo XVI. Dentro del buen sistema de la doble hoja, la única variante que presenta es la planta, pues se apoya la cúpula sobre un tambor circular, que á su vez descansa sobre cuatro pechinas chaflanadas que trasladan la carga á los macizos del crucero. En un principio las dos hojas de la cúpula suben unidas hasta alcanzar, proximamente, el tercio de la altura, donde se separan, ofreciendo la particularidad de no ser concéntricas, y sí sus arcos meridianos mas peraltados los que se refieren á la hoja exterior que los de la interior; la distancia entre ambas es de 1m.20 en el punto en que se separan y de 3 metros en la parte superior. De este modo se obtuvo mejor efecto perspectivo dada la mayor elevación, y se consiguieron ventajas en cuanto á la estabilidad y empujes sobre los elementos que sustentan la cúpula. Las dos hojas que la forman se enlazan entre sí por medio


Fig. 120

de espigones cuyo espesor disminuye por retallos al ganar en altura (Fig. 120). La elevación total de la construcción es de 101 metros desde el vértice al pavimento.

Hemos de advertir que esta cúpula ha sufrido grandes deformaciones, que alguna vez inspiraron temores de que pudiera sobrevenir un accidente; pero no fueron debidas de ningun modo á sus condiciones mecánicas: las produjo, como demuestra Rondelet, la mala ejecución de la fábrica mixta del tambor, cosa comprobada por la rotura de los cinchos puestos por Fontana, y todo induce á creer, que esta rotura ocurrió al poco tiempo de ser colocados aquellos, pero no influyó en la estabilidad de la bóveda.

A partir de esta época no se hicieron mas que imitaciones, tomando por modelo la cúpula de San Pedro antes descrita; solo nos fijaremos en la iglesia de Santa Genoveva, en Paris, hoy Panteon de franceses ilustres.

Iglesia de Santa Genoveva; Paris. Esta cúpula no es doble como la anterior, sino triple, por mas que la hoja intermedia no desempeña otra función que la decorativa, percibiéndose sus frescos á través del gran lucernario de la hoja interior, siendo la exterior la destinada á soportar la cubierta.

Descansa la cúpula sobre un tambor ahuecado con objeto de disminuir su masa; se procuró en la construcción repartir las cargas lo mas perfectamente posible haciendo la hoja exterior muy ligera con el empleo de nervios en el sentido de meridianos y paralelos, con lo cual pudieron hacerse las partes intermedias muy del-

gadas. Los cuatro grandes pilares que corresponden al crucero sostienen otras tantas pechinas que sirven de paso al tambor sobre que se levanta la cúpula propiamente dicha; las hojas interior é intermedia de esta, descansan sobre los referidos pilares triangulares (Fig. 121), y la exterior se apoya en otros cuatro pilares análogos á los anteriores, pero invertidos con relación á estos. Los arcos torales abcd que corresponden á esta hoja exterior no son visibles porque pasan sobre las tres naves bajas de la iglesia; esta disposición proporciona mucha luz, pero exige condiciones extraordinarias de resistencia, y á esta necesidad obedece la forma de curva catenaria dada á esos grandes arcos.

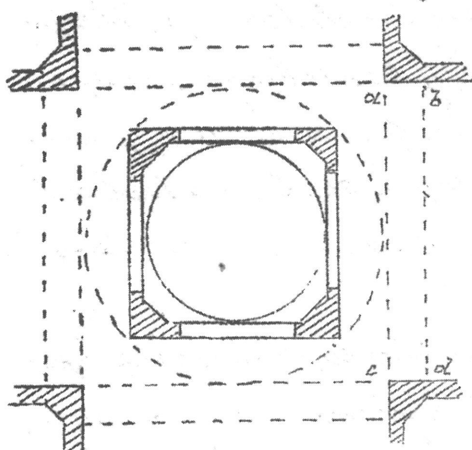


Fig. 121.

Las cargas producidas por cada hoja no se concentran de un modo exclusivo sobre los pilares en que directa y respectivamente descansan, sino que hay una cierta repartición desde el momento en que dichas hojas no son independientes entre sí, puesto que van enlazadas por medio de lunetos y espigones.

En la cimentación de este monumento se puso especial cuidado por ser muy falso el terreno, emplazamiento de antiguas canteras, explotadas la mayor parte; por esta razón se evitaron, como hemos visto, las grandes cargas concentradas; para contrarrestos bastaron las prolongaciones de los muros interiores, que hacen el efecto de botareles. El material empleado en las tres hojas de la cúpula fué la piedra labrada. (Véanse las láminas)

Antes de la construcción de la cúpula de Santa Genoveva se hicieron ya varios ensayos encaminados á resolver el mismo problema, pero disminuyendo las cargas todo lo posible; al efecto, la cúpula fué solo un elemento decorativo, suficiente para sostenerse y servir de techo, es decir, una simple hoja interior de fábrica, y la cubierta se apoyaba en una armadura adecuada para el caso, generalmente construida de madera, como en la catedral de Londres, ó de hierro, como la de la cúpula de los Inválidos, en Paris.

Tambien hoy se consigue aligerar los contrarrestos, ejecutándolos á manera de espigones huecos; se logra así que las partes inferiores de la construcción no sean pesadas, y al vaciarlos puede sacarse de ellas partido para disponer tribunas, galerías, columnatas, etc. Se puede citar como modelo el Monumento á la Independencia construido en Alemania en el último siglo y cuya cúpula mide 30 metros de diámetro. (Véanse las laminas)

Mole Antonelliana, en Turín. Como último ejemplo, no para ser imitado, sino como demostración de lo que se puede lograr con una ejecución perfecta y esfuerzo minucioso, cualidades sin las que este atrevido monumento no se hubiera sostenido.

Un recinto cuadrado, de 40 metros de lado, está cubierto por una bóveda en rincón de claustro, de cuyos témpanos cada uno pertenece á una superficie cilíndrica de 26 metros de diámetro; los apoyos son los cuatro muros y cuatro filas de columnas paralelas á estos y formando galerías. Constituyen la cúpula dos hojas de 0m13 de expesor, dejando entre ellas un espacio de 2 me-

tros; la hoja interior está formada por nervios ab, cd, ek, que descansan sobre las columnas (Fig. 122), enlazando los puntos de apoyo en sentido normal á las diagonales, formando de este modo una red de arcos apuntados, en la que cada uno de estos está constituido por dos trozos de elipse dados por las intersecciones de un plano proyectante, ab, por ejemplo, con las superficies cilíndricas de los témpanos AOB y AOD; las mallas de la red así constituida van cerradas por pequeñas bovedillas de medio ladrillo de espesor. En la hoja exterior, sostenida por los cuatro muros, los nervios siguen la dirección de las secciones rectas (Fig. 123) de los témpanos de la bóveda y otros segundos anillos de arcos dispuestos en sentido horizontal acaban de formar la red. Es pues, en resumen, el sistema celular llevado hasta la exajeración

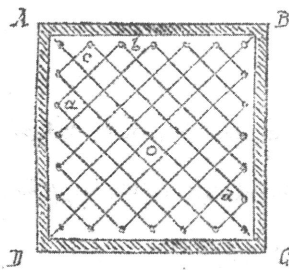


Fig. 122

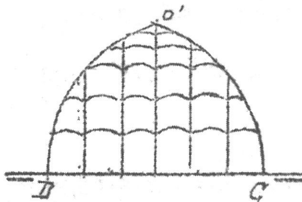
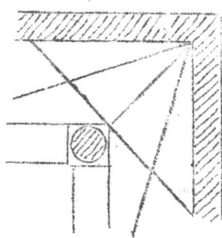


Fig. 123

Las dos hojas, cuya seccion representa la figura 124, estan enlazadas entre sí por medio de nervios, tambien de ladrillo y en forma de arcos invertidos en contacto. Existe además, un atirantado de varillas de hierro que partiendo de cada uno de los angulos, (Figura 125), puntos los mas sólidos de la construcción, van á los diferentes sitios de apoyo, contribuyendo á la invariabilidad del sistema.


Fig. 124


Fig. 125.

La elevación total de la construcción es de 165 metros.

BÓVEDAS MODERNAS.

Las bóvedas que, por regla general, tiene que construir hoy el Arquitecto, son de ladrillo ó de mampostería, pocas veces de sillería y menos aún de hormigón.

La primera cuestión que se presenta al construir una bóveda, es la de la cimbra, pues los procedimientos bizantinos se han perdido y solo en algun punto, como Badajoz, en España, se encuentran rastros de aquellas tradiciones. Comencemos, pues, nuestro estudio por el de las

Cimbras. Son construcciones provisionales, de madera generalmente, destinadas á sostener la bóveda durante su ejecución. Al estudiarlas hemos de tener en cuenta que por lo comun, las bóvedas que en el dia se construyen no son de grandes luces; rara vez exceden de 5 ó 6 metros.

Las condiciones de una buena cimbra son las siguientes: 1.ª que su establecimiento sea facil; 2.ª que tenga suficiente resistencia para las cargas que ha de soportar; y 3.ª que pueda ser desarmada facilmente.

Toda cimbra se compone de dos partes: 1.ª de cierto número de cerchas (camones si son pequeñas) á las que se da la forma de la seccion de la bóveda; y 2.ª de un enlistonado mas ó menos contínuo, que se apoya y clava sobre los camones ó cerchas.

Los camones mas sencillos se forman con tablas, colocadas de canto, de unos 3 ó 4 centímetros de grueso, perfectamente sujetas por medio de lengüetas y reforzadas con listones si es preciso.

Si la bóveda pasa ya de un metro á metro y medio, se siguen poniendo tablas de canto (Fig. 126), pero entonces se forman dos hojas que se justaponen y clavan teniendo cuidado de alternar las juntas, y aún puede

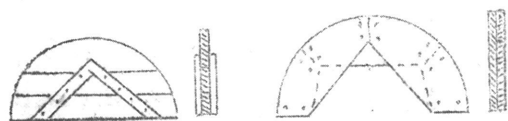


Fig. 126

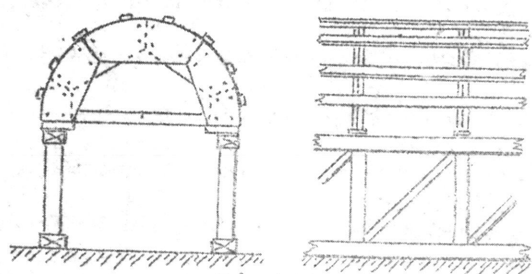
formarse la cercha con tres ó mas gruesos, reforzándola cuando se juzgue necesario, con una pieza horizontal á modo de tirante y otras oblícuas (V. las láminas)

Finalmente, si la cimbra hubiese de adquirir mucha importancia, se emplean para sus cerchas tablones de 10 ó 12 centímetros de grueso, cortados como siempre en la forma curva que sea necesaria, constituyendo la cercha un verdadero cuchillo de armadura.

Se colocan las cerchas según las secciones rectas de la bóveda que se va á construir, ó según sus meridianos cuando son de revolución; se asientan sobre pies derechos, ó lo que es mejor, sobre una carrera que á su vez descansa en virotillos ó pequeños pies derechos que pueden clavarse en el suelo ó apoyarse en otra carrera ó durmiente cuando el terreno no ofrezca la debida resistencia. Además, es preciso arriostrar las cerchas en los dos sentidos, por mas que en el lateral no se necesita, pues cuando se hace la bóveda los muros están ya construidos é impiden su movimiento, siendo en cambio imprescindible el ligado ó arriostrado de las cerchas entre sí, para evitar todo movimiento de cuneo que pudiera producirse despues de armada la cimbra. La distancia á que deben colocarse las cerchas unas de otras, depende, no solo de la luz de la bóveda, sino también de la clase de material de que haya de

construir, pues es preciso evitar con cuidado toda deformación en la cimbra, porque necesariamente habría de transmitirse á la bóveda; se puede fijar la distancia máxima 1,m50 y 2,m00, aún cuando no es dato invariable puesto que en él influye también la longitud de los listones que se claven encima, dando la superficie de intradós de la bóveda, toda vez que sus extremos han de apoyarse precisamente sobre cerchas; la longitud de estos listones suele ser de unos 7 pies.

Cuando se trata de una bóveda de cañón abierta por sus dos extremos se colocan la primera y la última cercha un poco retiradas con relación al respectivo arco de cabeza; sobre las cerchas se clavan los listones que vienen á constituir el molde de la bóveda, molde que á veces no es preciso que sea contínuo, como ocurre cuando se emplean dovelas: basta entonces clavar listones aislados ó costillas, correspondiendo con las líneas horizontales de junta (Fig. 127); en otros casos, por el contrario, se guarnece el entablado con yeso para tener superficies perfectamente contínuas.


Fig. 127

Supongamos ahora que se trata de cimbras de bóvedas compuestas; el problema de su formación se resuelve armando y uniendo las cimbras correspondientes á las bóvedas simples de que aquella se compone.

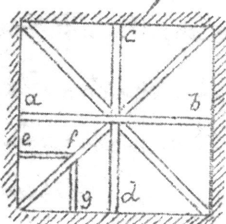


Fig. 128.

Si es una bóveda en rincon de claustro se coloca cercha entera en ab (Fig. 128) dos medias cerchas sobre cd, y otras cuatro medias siguiendo las diagonales;

si por la importancia de la bóveda fuese preciso, se colocarían partes de cercha en Fg y Fe, siempre normalmente á las generatrices del respectivo cañón.

Sí se trata de una bóveda por arista, se ponen cuatro cerchas según los arcos de frente (Fig. 129), otra según una diagonal, dos medias según la otra, y las partes de cercha que sean necesarias como las mn y pq. Sin embargo, para estas bóvedas es mejor procedimiento construir una de las cimbras de los cañones entera, y luego acometer á ella con el enlistonado del otro cañón, siguiendo sus generatrices rectilíneas, clavándolo sobre los trozos de cercha correspondientes á él que se juzguen necesarios.

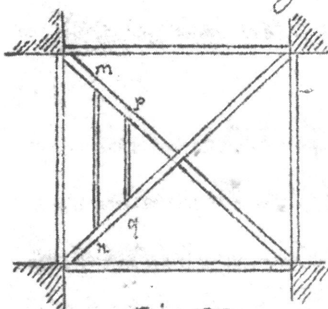


Fig. 129

Finalmente, si se trata de bóvedas helizoidales, como estas no serán exajeradas, bastará, para obtener la cimbra, forzar un poco cada listón.

Todas las piezas que entran en la composición de una cimbra deben ser de madera sana, resistente y perfectamente curada, sirviendo con preferencia el pino que tiene, ademas de aquellas condiciones la ventaja de su poco peso que facilita las operaciones de manejo y colocación. Cualquiera que sea la disposición y forma de las cimbras, se prefiere para el ensamblaje de sus distintas piezas los procedimientos mas sencillos que enseña el corte de maderas.

Por extremado que haya sido el cuidado puesto en la construcción de una bóveda, siempre está sujeta á experimentar ciertos movimientos ó asientos cuando se quita la cimbra que sirvió para su ejecución; de aquí que sea para nosotros de gran interés é importancia

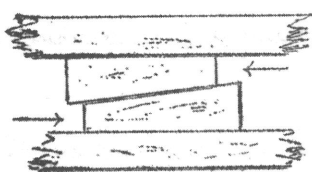
el tratar de los

Descimbramientos. Hay que llevar á cabo esta operación con suma prudencia y grandes precauciones, sobre todo cuando se trata de grandes bóvedas; en las de uno ó dos metros de luz apenas son sensibles estos efectos.

Por regla general debe hacerse el descimbramiento de tal manera que la cimbra se separe de la bóveda insensiblemente por grados que dejan entre sí un intervalo de tiempo bastante largo, conviniendo, además, que se pueda detener el descimbramiento en un instante dado de tal suerte que la cimbra se apoye de nuevo contra la bóveda como antes de empezarse la operación, todo con objeto de amortiguar un descenso demasiado rápido que la bóveda pudiera experimentar.

Hay divergencia de opiniones sobre si es conveniente descimbrar las bóvedas inmediatamente despues de cerradas ó si es preferible esperar el tiempo necesario para dar lugar al fraguado completo del mortero; en el primer caso este está fresco y puede plegarse sin romperse á los movimientos de la bóveda que naturalmente son mayores que si el mortero hubiese fraguado; en el segundo caso el descenso de la bóveda es, por el contrario menos sensible, pero en cambio es de temer la rotura ó el aplastamiento del mortero. En la práctica se adopta un término medio: no se procede al descimbramiento de las bóvedas de cierta importancia hasta los 15 ó 20 dias despues de cerradas, empleándose diversos procedimientos de los que los siguientes son los mas generalizados:

Dobles cuñas. El descimbramiento que se describe en varios tratados, y que consiste en picar algunos de los elementos de la cimbra, los virotillos, por ejemplo, no reune buenas condiciones, y da mucho mejor resultado disponer dobles cuñas, superpuestas é invertidas (Fig. 130), bien sea bajo los pies de los postes ó entre la carrera que los corona y cada cercha.


Fig. 130

Dando poca inclinación á las caras de esas cuñas se comprende que para separarlas paulatinamente bastarán ligeros golpes de mazo en el sentido que marcan las flechas indicadas en la figura, y disminuyéndose así, de manera casi insensible la altura total de la doble cuña se logra el lento descenso de la cimbra.

Sin embargo de que en la generalidad de los casos este procedimiento ha producido resultados excelentes, ha ocasionado tambien, algunas veces desgracias y dificultades, porque las cuñas, á causa de las grandes cargas que soportan y no obstante de haberse ensebado bien sus caras en contacto, llegan en ocasiones á incrustarse una con otra, siendo muy difícil, y á veces hasta imposible, separarlas; pero tambien ha ocurrido, por el contrario, que al primer golpe de mazo han salido súbitamente disparadas con velocidad y fuerza bastantes para herir á las personas colocadas en su trayecto. Por todas estas razones se han buscado y se han encontrado otros procedimientos mas seguros y perfectos; los mas generalizados son los siguientes:

Sacos de arena. Ha dado este sistema muy buenos resultados en el descimbramiento de los grandes arcos

y consiste en hacer descansar la cimbra sobre sacos de fuerte lona llenos de arena cuarzosa perfectamente seca; basta abrir convenientemente esos sacos por un punto para que saliendo poco á poco la arena que contienen descienda toda la armazon y tenga lugar el descimbramiento.

Para obtener este resultado se empieza por secar muy bien la arena tostándola en una estufa; se ata uno de los extremos del saco con un cordel fuerte y despues de lleno de arena se ata de la misma manera el otro extremo. Con objeto de evitar que la arena adquiera humedad, lo que la impediría salir facilmente en el momento del descimbramiento, hasta que va á practicarse esta operación no se colocan los sacos en su sitio bajo la cimbra que ha estado sostenida por medio de tacos ó cuñas, ya sencillas, ya dobles, como se ha dicho anteriormente.

En el momento de descimbrar la bóveda se pone el saco entre dos maderos a y b (Fig. 131) y por encima ó por debajo de uno de ellos se colocan las dos cuñas c y d, oprimiéndolas á golpe de mazo hasta que la arena encerrada en el saco adquiera por esta compresión la dureza de la piedra; entonces ya es facil quitar con el mazo ó con el hacha el soporte inmediato que queda sustituido por el saco. Esta operación se repite en todos los apoyos de la cimbra.

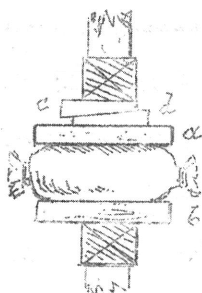


Fig. 131

Una vez terminados estos trabajos preliminares, se sitúa al lado de cada saco un operario ó dos, encargados de abrirlos con cuidado, desatando las ligaduras y vijilando la salida de la arena que empieza

desde luego á verificarse por la estrecha boca. Cada hombre tiene una medida, que generalmente es un medio litro de hojalata, en el que recibe la arena; una vez lleno cierra el saco apretando el cordel hasta que recibe orden de repetir la operación. En caso de interrumpirse la salida de la arena se deshace la obstrucción por medio de una varilla de hierro que el operario tiene prevista para ese objeto. Así se continúa la operación con perfecta regularidad hasta que la bóveda queda por completo independiente.

Terminada la exposición de estos elementos, cuyo conocimiento nos es indispensable, y sin perjuicio de volver sobre ellos mas adelante, pasamos á estudiar la construcción de las bóvedas en la época presente.

Bóvedas de cañón. Supongamos que ya está armada la cimbra; si la bóveda ha de ser de mampostería su construcción es la misma que si fuese de sillería, con la sola diferencia de que las capas de mortero tienen mas importancia; si se trata de una bóveda de ladrillo, los aparejos pueden ser varios.

1º Se colocan los ladrillos normales á la superficie del cañón, de modo que las juntas sean continuas en el sentido de las generatrices y alternadas en el de las secciones rectas; para colocar en esta posición se pueden emplear distintos procedimientos, entre otros el de poner cuerdas convenientemente tendidas para cada hilada, por mas que los operarios en cuanto adquieren alguna práctica no necesitan estos medios auxiliares.

Hay que observar que siendo la forma del ladrillo la de un paralelepípedo, al colocarse en la posición antedicha y tocándose las aristas del intradós, han de separarse unos de otros por el trasdós, tanto mas cuanto mayor espesor tenga la bóveda. Para evitar esto podría escafilarse el ladrillo, pero esta operación exigiría mucha mano de obra, se desperdiciaría gran parte del material, y, lo que es peor, este queda en malas condiciones. Se puede también fabricar ladrillos especiales en forma de dovela, pero es evidente que esta forma habría de variar con el radio para cada bóveda, y además de este inconveniente es un procedimiento caro. Lo que generalmente se hace es encascotar los huecos que quedan con trozos de ladrillo, pizarra ó baldosín, operación que se ejecuta á mano, pero con ciertas precauciones para no producir presiones excesivas, echando luego una lechada de mortero.

Este sistema debe emplearse solo en bóvedas cuyo grueso no pase de ladrillo y medio; para mayores espesores es necesario construir anillos ó roscas superpuestas, cada una de aquel espesor.

2º Procedimiento llamado inglés, aunque ya fué empleado por los romanos: consiste en formar la bóveda de varios anillos, aún en el caso en que su espesor no exceda de ladrillo y medio; esto ofrece la ventaja de que la separación de las juntas no puede llegar á ser muy grande en el trasdós, pero hay que tener entonces sumo cuidado de que los anillos no queden del todo independientes y sí enlazados unos á otros por llaves, para lo que se aprovechan los puntos en que las juntas coincidan, cosa que sucederá de trecho en

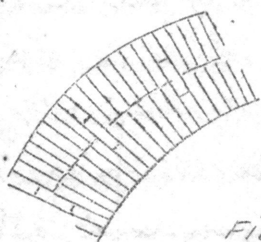


Fig. 132

trecho, en virtud de la diferencia de desarrollo de los arcos, dada la de los radios de los anillos; debe además llevarse la fábrica de estos bastante á hueso, muy bien construida, empleando mortero de fraguado rápido (Fig. 132).

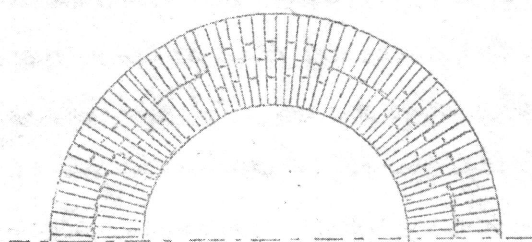


Fig. 133

3.º Este procedimiento no es mas que una modificación del anterior: consiste en interrumpir el aparejo inglés en los puntos correspondientes á las juntas de fractura, aparejando en ellos según el procedimiento ordinario.

4.º Se obtiene otro aparejo formando una especie de dovelas con grupos de ladrillos puesto de canto (Figura 134) y una dovela á continuación de la otra tocándose las aristas del intradós. Los huecos intermedios se cuajan con ladrillo. Tiene este procedimiento el inconveniente de que la diferencia de estructura hace que la fábrica no ofrezca la misma resistencia en todos los puntos.

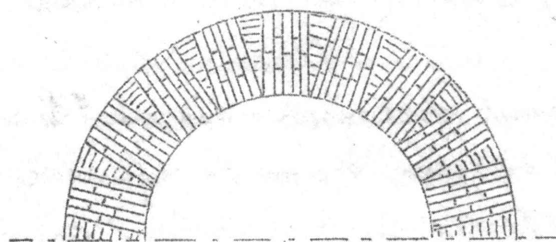


Fig. 134

5.º Supongamos que se trata de cubrir una sala de planta rectangular con una bóveda de cañón cuya curva generatriz fuese un arco escarzano de poca sagita: se guarnece la cimbra y sobre ella se marcan con cordón ó regla flexible las líneas de junta después de haber dividido en partes iguales;

se forman así (Fig. 139) espinas de pez, con lo que se disminuye la longitud de las juntas y se da á la bóveda mejor aspecto. Se empieza esta por los angulos, procediendo oblicuamente con relación al eje, y siguiendo el indicado aparejo, queda la bóveda formada por una serie de pequeños arcos que se apoyan: 1º sobre los muros del contorno; 2º en un muro y un arco; y 3º sobre dos arcos. El espacio central va estrechándose cada vez mas, hasta llegar á un pequeño hueco que se rellena con trozos de ladrillo. En realidad, ahora se proyectan las juntas horizontalmente según arcos, pero en la figuran se han sustituido por sus cuerdas. La fábrica debe progresar igualmente por los cuatro lados hacia el centro, y los lechos deben encontrarse según las medianas del rectángulo de planta.

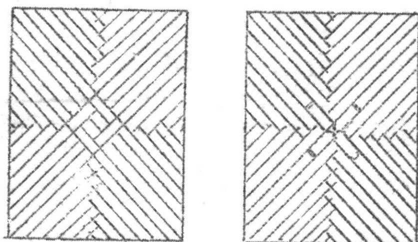


Fig. 139

El aparejo de que hablamos presenta las ventajas siguientes: 1ª La línea de rotura no es continua; 2ª El empuje se reparte sobre todos los muros del contorno, cosa que no sucede con el aparejo ordinario y que permite disminuir un poco el espesor de los muros longitudinales, obteniendo, sin embargo, un conjunto mas rígido.

6º Aún puede hacerse otro aparejo oblicuo, que consiste en empezar la bóveda por el centro, é ir construyendo desde este hacia los lados, disponiendo los lechos segun dos direcciones á angulo recto entre sí (Fig. 140)

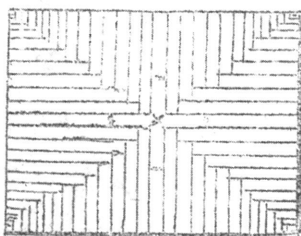


Fig. 140

Este sistema conviene á las bóvedas cuyos muros del apeo se detienen á la altura de los arranques.

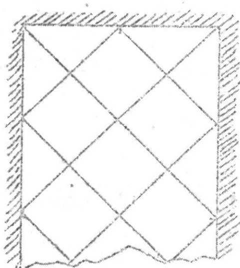
Se ve que por los dos últimos procedimientos los empujes que reciben los muros de frente son empujes oblicuos.

7.º Puede seguirse, finalmente, otro sistema, que es construir de trecho en trecho (cada dos metros) arcos fajones, resaltados ó no al intradós según convenga á la ornamentación que haya de emplearse; con este procedimiento se consigue á la par que reforzar la bóveda limitando sus deformaciones, economizar material, aunque no mano de obra.

Cuando se quiera decorar el intradós de la bóveda con un encasetonado se pueden emplear arcos transversales ó fajones y ligaduras en sentido de las generatrices del cilindro, consiguiéndose de este modo una estructura en perfecta armonía con la decoración que se va á emplear. Los arcos transversales suelen hacerse de dos á dos y medio ladrillos, y de uno á otro se voltean nuevos arcos escarzanos ó adintelados que tengan sus arranques en los costados de los fajones, cubriéndose el fondo de los casetones con bovedillas de medio ladrillo. Sobre la cimbra se clavan los contramoldes que sirven para formar el casetón, siguiéndose en esto la práctica romana.

Dicho procedimiento es de gran aplicación cuando se trata de cubrir una sala que impide por su distribución el empleo de contrafuertes á lo largo de toda ella. Pueden ponerse, entonces, arcos resaltados que correspondan á los puntos donde esos

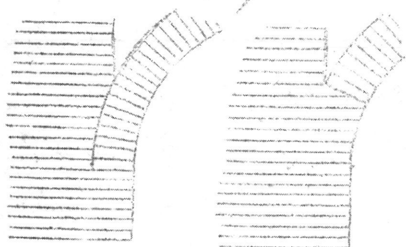
contrafuertes puedan establecerse, disponiendo de arco á arco las correspondientes ligaduras como queda dicho.


Fig. 141

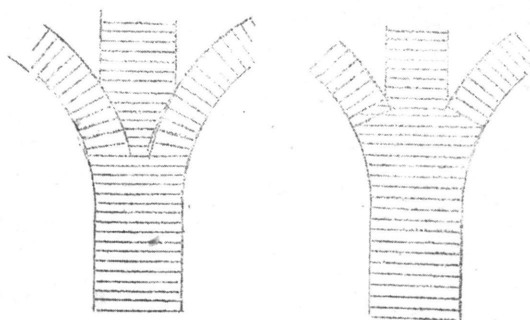
Para terminar añadiremos que también puede ser empleado un encasetonado romboidal (Fig. 141) pero en realidad es poco usado. Presenta, sin embargo este sistema la ventaja de que trabajan los cuatro muros de la sala.

Enjutado de las bóvedas de cañón. Es necesario enjutar estas bóvedas en sus riñones con objeto de que la curva de presiones se acerque al intradós, porque sino facilmente se saldría del perfil de la bóveda. Se enjuta por lo menos hasta la mitad, por mas que, realmente, debiera hacerse hasta la altura del intradós en el vértice.

Este enjutado puede hacerse independiente del arco ó combinado con él, aunque esto último resulta mas caro; pero lo que sí hay que procurar es que no l cargue sobre el trasdos del arco (Figura 142)


Fig. 142

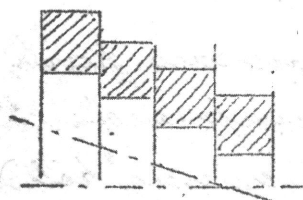
Una cosa analoga puede decirse en el caso de que haya dos arcos simétricos, pues si no se dispone convenientemente el muro superior (Fig. 143) podría venir á hacer el oficio de una cuña, tratando de separarlos, y para evitar esto, lo que debe hacerse es procurar que las


Fig. 143.

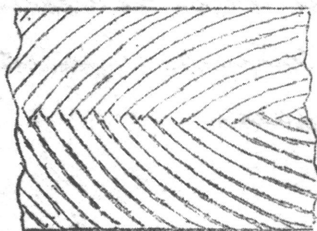
hiladas sean horizontales y comunes á los dos arcos y al macho intermedio

Lunetos. Su construcción es sencilla, pues basta acometer á la cimbra principal con la del luneto, como si se tratara de una bóveda por arista; pero todavía es mucho mas sencillo voltear un arco sobre la bóveda principal, otro que corresponda al hueco ventana ó lo que sea) y de uno á otro construir un tímpano de bóveda. (V. las láminas)

Bóvedas en bajada. Por regla general hay que variar el aparejo, á no ser que se trate de pendientes pequeñas. En la Edad Media se dio solución á la cuestion estableciendo una serie de arcos adosados (Fig. 144); pero esto, en rigor, no constituye una bóveda.


Fig. 144

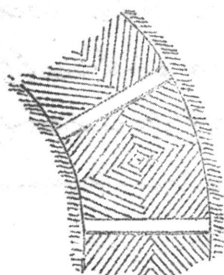
La solución general consiste en tomar para líneas de lecho y sobrelecho arcos de hélice, que vienen á ser prolongaciones de los tendeles del muro, al cual la bóveda es tangente, (Fig. 145) formándose en la generatriz mas alta la correspondiente espina de pez. La disposición de la cimbra es la misma que en el caso ordinario, y sobre ella se marcan las líneas de junta.


Fig. 145

Bóveda anular. No puede aparejarse como indica la Estereotomía, por tratarse de ladrillos, pues merced á su forma de paralelepípedo las juntas

se abrirán al exterior, como ya hemos dicho al hablar de las bóvedas de cañón.

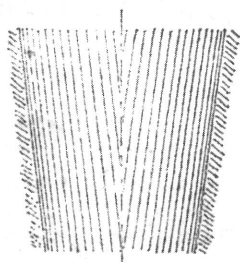
Para aparejar la bóveda anular hay varios procedimientos, pero lo mejor es dividirla en tramos por medio de arcos, resaltados ó no, cuyo plano pase por el centro de la bóveda (Fig. 146); de este modo se habran formado en la planta trapecios mixtilíneos que se cubren con tempanos de bóveda aparejados por hiladas oblícuas formándose las correspondientes espinas de pez que se siguen hasta que cerca del punto mas alto queda un pequeño hueco que se rellena con ladrillos puesto de canto ó con una clave de piedra.


Fig. 146

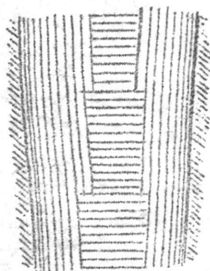
Bóvedas de caracol. No son mas que un caso particular de las anteriores, en el que la circunferencia directriz de la superficie tórica se convierte en una hélice. El mejor aparejo es seguir las hiladas del muro al cual es tangente, y que se convertirán en arcos de hélice al encontrar la superficie de la bóveda, como se dijo al tratar del aparejo de las bóvedas en bajada.

Bóvedas cónicas. Supongamos que la generatriz del espinazo sea horizontal. Para aparejar estas bóvedas se pueden seguir varios procedimientos:

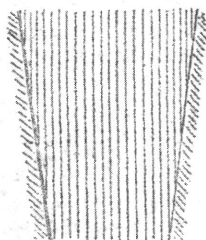
1.º Aparejar paralelamente á los arranques (Fig. 147) formándose, según la generatriz más alta, una espina de pez; pero tiene esto el inconveniente


Fig. 147

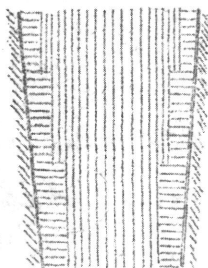
de que en los encuentros resultan ángulos demasiado agudos; para evitarlo se puede formar una cremallera en el centro (Fig. 148) (V. las láminas)

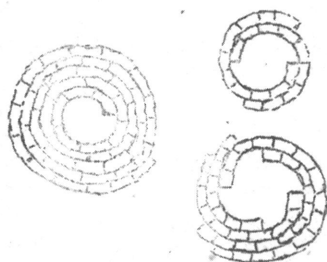

Fig. 148

2º En lugar de seguir el procedimiento anterior, se puede hacer el aparejo por medio de líneas paralelas á la de espinazo, según se indica en la Fig. 149; y para evitar, como antes, los ángulos agudos que ahora se forman en los arranques, puede establecerse en estos dos cremalleras, con lo que dicha dificultad desaparece (Fig. 150) (V. las láminas)


Fig. 149

Bóvedas esféricas. El emplear el sistema de aparejo que da la Estereotomía trae consigo el ya mencionado inconveniente de abrirse las juntas. Esto se evita disponiendo una clave cónica de piedra y desarrollando enseguida un anillo de ladrillo según una hélice trazada sobre la superficie esférica hasta llegar al arranque (Fig. 151)

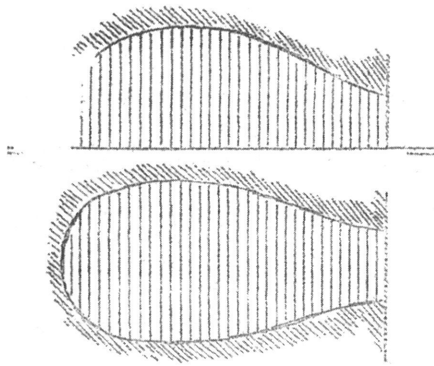

Fig. 150


Fig. 151

En lugar de un solo anillo pueden emplearse dos ó mas, para lo cual las claves deben tener forma apropiada al número de estos que en ellas van á intestarse (V. las láminas).

Bóvedas de forma irregular. Si la bóveda tiene ya una forma mas irregular, como sucede en los

horno, no hay procedimiento fijo. La única regla general que para el caso puede darse, es el empleo del


Fig. 152

sistema bizantino (Fig. 152), construyendo una serie de anillos verticales que se van pegando sucesivamente unos á otros, teniendo cuidado de que las juntas queden alternadas. Si se trata de un horno es natural que para unir los anillos se empleé tierra refractaria.

El mismo procedimiento es aplicable al caso en que se quiera tener pocos empujes; debe entonces usarse muy buen mortero.

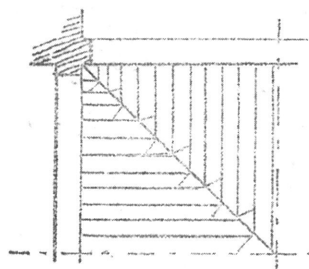
Bóvedas compuestas.

Se pueden reducir á las de por arista, rincón de claustro, derivadas de la esférica y sus congéneres.

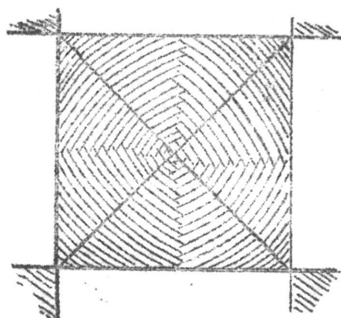
Bóveda por arista. Dos procedimientos cabe emplear:

1º Consiste en emplear el aparejo que la Estereotomía da para las bóvedas de sillería, pero aquí, con el ladrillo, no pueden formarse los codillos. Presenta este sistema, (que es el mas usado, pero tambien el peor) un grave inconveniente, y es la necesidad que hay de cortar el ladrillo según diferentes plantillas, toda vez que, como es sabido, el ángulo de la arista varía de una sección horizontal á otra. El cortar el la-

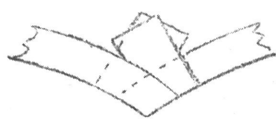
drillo de este modo, á mas de ser una operación pesada, trae consigo el desperdicio de mucho material, y, lo que es peor todavía, que quedan al intrados caras cortadas, precisamente en la arista, que es donde mas resistencia hace falta. Si este procedimiento se emplea es evidente que los anillos que corresponden á cada cañon tienen que ser prolongados hasta intestar en el otro alternando de la manera que se indica en la figura 153.


Fig. 153

2º Este segundo procedimiento consiste en trazar planos normales á las aristas; así se tienen lechos y sobrelechos planos, las líneas de junta serán arcos de elipse, y se formarán espinas de pez (Fig. 154) según las medianas del cuadrado de plantal.

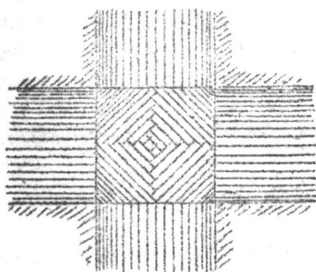

Fig. 154

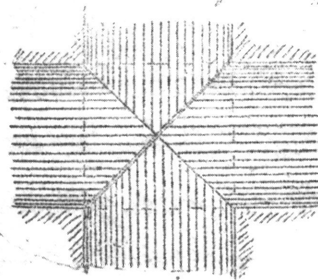
Se empieza la construcción por por los arranques, y si se quiere puede reforzarse la arista, para lo que se disponen convenientemente los ladrillos (Fig. 155). Tambien puede hacerse la arista de piedra, en cuyo caso se apareja como un arco.


Fig. 155

Presenta este procedimiento una importante ventaja sobre el primero, pues no es preciso, como en aquel cortar de canto los ladrillos, quedando mucho mejor establecida la trabazón entre todos ellos. Pero no deja, sin embargo, de ofrecer un inconveniente: supongamos, en efecto, que la bóveda por arista cubre, no

una sala cerrada, sino un espacio cuadrado obtenido al cortarse dos cañones de la misma montea, que se prolongan mas allá de los arcos de cabeza de la bóveda (Fig. 156); pues bien, si, como es lo general, se aparejan los cañones por tendeles trazados según las generatrices, habrá que suspender este aparejo al llegar á los mencionados arcos de cabeza, cosa que no hubiera sucedido aparejando la bóveda por el primer procedimiento (Fig. 157). Es de toda evidencia que este inconveniente desaparece en el momento en que no se prolonguen los cañones, es decir, en el caso de que la bóveda tenga por objeto cubrir una sala cerrada.


Fig. 156


Fig. 157

Bóveda en rincón de claustro. En rigor es de poca aplicación. Puede aparejarse de dos modos: ó enlazando los ladrillos á la arista, pasando cada hilada hasta el otro cañón, como se dijo en la bóveda anterior, ó bien por medio de hiladas curvas. (V. las láminas)

Hay un caso en que la bóveda en rincon de claustro puede tener aplicación: se sabe que el inconveniente principal de estas bóvedas estriba en la dificultad de la iluminación, que no puede hacerse sino por debajo del arranque; pues veamos como puede evitarse esto.

Sea la bóveda en rincón de claustro ABCD (Fig. 158) Cortémosla por los cuatro planos EF, FG, GH y HE, que darán por intersecciones arcos de elipse; hecho esto supri-

mamos los triángulos AEF, FBG, GCH y HDE, y nos quedará la bóveda EHFG, abierta hasta la clave como indica la figura 159, y que permite fácilmente la iluminación.

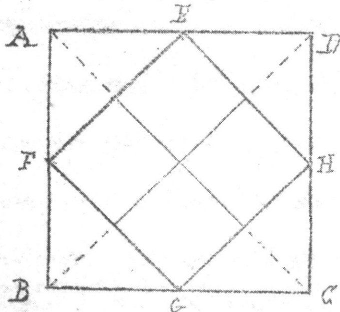


Fig. 158

Este sistema de bóvedas se emplea para cubrir galerías en el arte oriental.

Bóvedas derivadas de la esférica. Son muy empleadas las bóvedas de esta clase en las construcciones de ladrillo. En primer lugar tenemos la

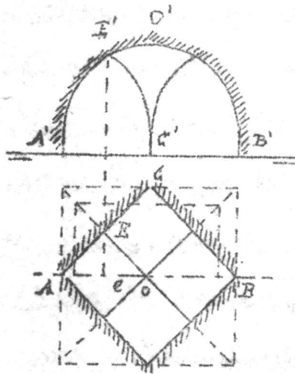
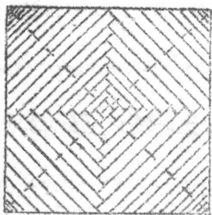


Fig. 159

Bóveda vahída. Se puede construir como la esférica, empleando un aparejo de meridianos y paralelos, haciendo la clave de piedra ó de ladrillos puestos de canto. Pero hay otros aparejos mejores, siendo uno de ellos el bizantino, que consiste en ir pegando sucesivamente anillos á los arcos de frente. También pueden hacerse combinaciones de los dos sistemas, pero es preferible disponer las hiladas de modo que sean normales á las diagonales de planta. (Fig. 160)


Fig. 160

Puede ocurrir que la planta, en lugar de ser cuadrada sea rectangular, y en este caso los arcos AB, BC, CD y DA (Fig. 161) tendrán diferente montea, lo que puede ser un inconveniente si ha de construirse encima una azotea, pues será necesario macizar para ganar la altura del arco de mayor luz, á mas

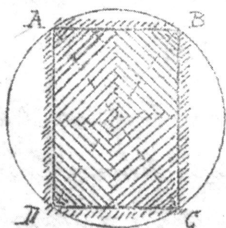


Fig. 161.

de producir mal efecto. Para hacer que esos arcos tengan igual montea se circunscribe á la planta una elipse que sea la intersección con el plano de arranque de un elipsoide que cumpla con aquella condición. El aparejo de la planta cuadrada ya no es ventajoso, y lo que únicamente cabe es el empleo del sistema de anillos bizantinos, poniendo diferente número en cada lado, en conformidad con la relación que guardan los lados del rectángulo. Lo mejor de todo es emplear como siempre hiladas que sean aproximadamente normales á las diagonales de la planta (Fig. 162), formándose cuatro espinas de pez. Para esto se pone la cimbra compuesta de cuatro camones que se enlistonan, luego se guarnece y sobre ella se marcan las juntas, tomando puntos correspondientes de división.

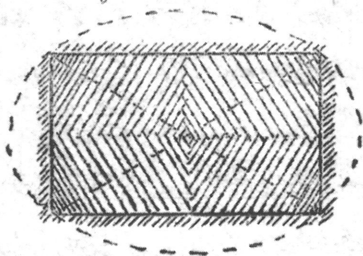


Fig. 162

Todavia cabe el empleo de la bóveda vahida en otra forma, pues tal como se ha descrito su construcción resulta que ocupa gran altura, lo que puede ser un inconveniente cuando se trate de edificios que tienen varios pisos; para evitarlo se toma como centro de la esfera un punto situado en la vertical del que se había tomado antes, pero mas bajo que este, en la inteligencia de que la montea de la bóveda será tanto menor cuanto mas bajo esté el centro. El aparejo es el mismo, hiladas normales á las diagonales de la planta.

Aún hay otras bóvedas posibles de construir, pero mas complicadas, para cubrir plantas cuadradas con determinada altura, originándose superficies contínuas.

Bóveda esférica sobre pechinas. Ya sabemos que las pechinas pueden pertenecer ó no á la misma esfera que el cascarón. Muchas veces conviene aparejarlas de distinto modo que aquel y así pueden hacerse por hiladas horizontales; los ladrillos van avanzando formando una serie de voladizos, y se recortan si han de quedar al descubierto. De este modo se consigue que el centro de gravedad de las pechinas quede mas al interior de la planta, y que su peso, combinado con el empuje de la bóveda, mejore las condiciones de estabilidad de la construcción.

Bóvedas esquilfadas. Son muy empleadas, por mas que el hierro las reemplaza hoy con ventaja. Se componen de una pequeña bóveda en rincón de claustro y en el centro una parte plana ó con ligerísima curvatura (Fig. 163). Se puede construir con piedra ó ladrillo, y para ello, sobre la última hilada de la bóveda en rincón de claustro se apoya la bóveda plana, la que suele hacerse ligeramente curvada con objeto de evitar el mal efecto que algún pequeño movimiento de esa parte de la fábrica produciría.

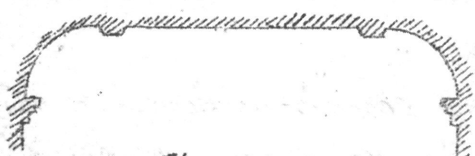


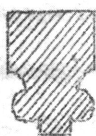
Fig. 163.

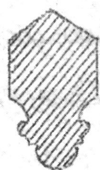
Al presente se hace el esquilfe encamonado, colocándose de trecho en trecho camones que se enlistonan y guarnecen, y luego se hace el corrido de molduras.

Bóvedas de crucería

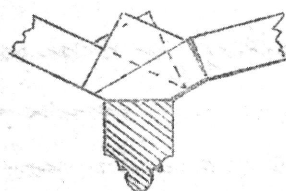
Son las que en la actualidad se prestan mejor á

nuestros elementos de construcción lo mismo que sucedía en la Edad Media. Los tímpanos suelen hacerse de ladrillo, empleándose también la piedra en algunas ocasiones. Los nervios son siempre de este material, llevando en el intradós el perfil correspondiente y por el trasdós se terminan en forma apropiada para recibir el ladrillo (Fig.s 164 y 165)


Fig. 164


Fig. 165

En el caso de la figura 164 se puede, á poca costa obtener un refuerzo que aligere en gran manera el nervio, para lo cual basta que se combinen convenientemente los ladrillos (Fig. 166) De este modo el nervio puede admitir dimensiones mas reducidas, y hasta podría suprimirse, pero no se hace, y encima de los arcos viene la bóveda de ladrillo, que casi podría sostenerse sola.


Fig. 166

El mejor aparejo para estas construcciones es el alemán, pero tiene el inconveniente de que si la bóveda es muy grande los tendeles resultan de diferente espesor; tiene esto facil solución, si la boveda es pequeña, empleando mas mortero, pero este recurso no puede ser aceptado pasando de ciertos límites. Cabe aún hacer que los planos no sean normales, sino poner las líneas de junta en planos verticales, y luego, siguiéndolas, los ladrillos normales á la superficie de intradós.

Todas estas bóvedas pueden hacerse también tabicadas; el ladrillo ha de ser ligero, y es preferible la rasilla hueca unida con yeso ó cemento. Para evitar las deformaciones á que estan sujetas las bóvedas

por aumento del volumen del yeso, deben tomarse precauciones, como acompañarlas lateralmente y no cerrarlas enseguida.

La verdadera aplicación de estas bóvedas está en el caso en que no han de recibir carga. Rara vez se emplea una sola bóveda si es tabicada; lo mas general es doblarlas.

CONTRARRESTOS.

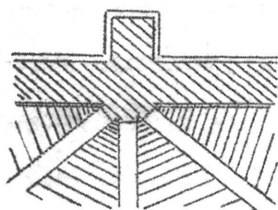
De los contrarrestos en general.

Es evidente que toda bóveda desarrolla un empuje mayor ó menor sobre los elementos sustentantes, y este empuje que aparece con la bóveda, necesita un elemento capaz de contrarrestarle, ó sea de desarrollar una reacción que se equilibre con él. Este nuevo elemento que se introduce es el contrarresto.

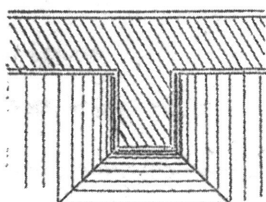
Es este, mecánicamente considerado, una prolongación de la bóveda dispuesta para que en ella se aloje la curva de presiones; de aquí que las condiciones mecánicas deban ser las mismas que las de la bóveda, es decir, que la curva de presiones quede alojada en el tercio central, que los ángulos sean mayores que el de rozamiento, que el coeficiente de trabajo sea el que corresponde al material empleado, etc.

Al estudiar los contrarrestos hay lugar á distinguir

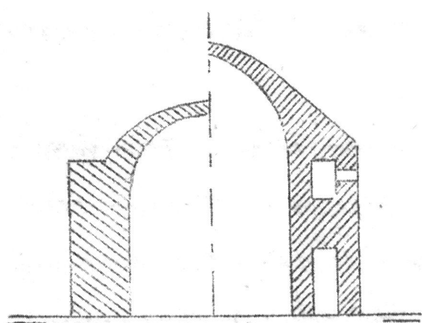
dos sistemas: 1.º Contrafuertes situados al exterior, salientes; esta es la solución de la Edad Media, que tiene la ventaja de dejar la nave diáfana á costa de espacio que entre los contrafuertes se desperdicia; (Fig. 167); 2.º Contrafuertes al interior, con los que se aprovecha mejor el espacio, pero queda menos libre el interior (Figura 168).


Fig. 167

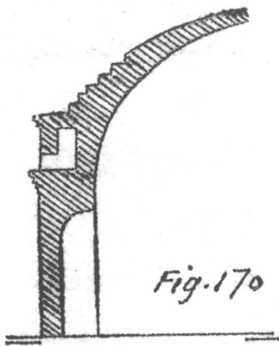
Este sistema fué seguido en el arte romano, en el bizantino y en el árabe


Fig. 168

Contrarrestos romanos. Si la bóveda concrecionada, que, como ya hemos dicho, fué la empleada por los romanos, estuviese ya fraguada, no produciría empujes oblícuos, y si solo presiones verticales, pero hay que observar que antes de llegar la bóveda á la solidificación completa, pasa por estados intermedios en los cuales se desarrollan esfuerzos de tracción en la masa de la bóveda á causa de su tendencia á deformarse.


Fig. 169

Para evitar tales deformaciones, lo que primero se ocurre es acompañar la fábrica hasta altura conveniente con lengüetas ó espolones transversales, (Fig. 169), que si son de cierta importancia se utilizan con pasos y huecos. Uno de los ejemplos mas notables de esta disposición es el Panteón de Agripa, cuya cúpula se sujeta con el colosal enjutado que la acompaña en su base (Fig. 170) y que se resuelve en un tambor prolongado hasta el suelo.


Fig. 170

Pero si este tambor fuera macizo, su exorbitante masa sería mucha mayor que la precisa para la carga que había de soportar, y esto originó la estudiada combinación de los huecos interiores, resultando de aquí que los verdaderos contrarrestos son las partes de tambor comprendidas entre cada dos nichos, como la abcd (Fig. 171), pero tampoco estos contrafuertes son macizos, sino que están aligerados por medio de otros nichos invertidos, conforme á lo que ya se dijo al tratar de las bóvedas esféricas en el arte romano.

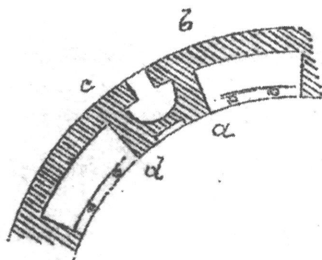


Fig. 171.

Cualquiera de las construcciones romanas presenta en su planta algún ejemplo del modo de contrarrestar unos elementos con otros; así se ve en las Termas que hay huecos ó vaciados utilizados para pequeñas dependencias y que constituyen verdaderos contrarrestos. Si se trata, por ejemplo, de una basílica compuesta de nave alta y dos bajas y la primera esta cubierta con una bóveda por arista, para contrarrestarla se colocan de trecho en trecho espigones, y de uno á otro se voltean bóvedas de cañón quedando así formadas las naves bajas por el aprovechamiento de los espacios (Fig. 172) que resultan entre los contrarrestos de la alta. En las Iglesias del Renacimiento se utilizó también este sistema (V. las láminas).

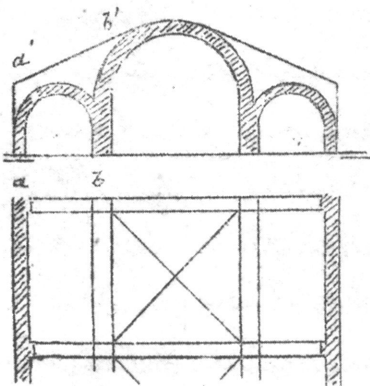


Fig. 172

Contrarrestos bizantinos. En este arte se conserva la tradición romana, dejando las fachadas lisas, ó á lo mas, con ligerísimos retallos.

La bóveda principalmente copiada, es la esférica ó vahída; en ella estan los empujes diseminados por todo el contorno, y aquí encontramos los procedimientos mas dignos de estudio para su contrarresto y que no dejan de presentarse combinados. Son:

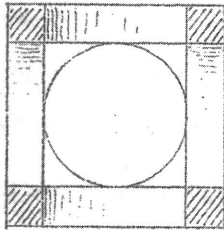


Fig. 173

1º Adosar á los cuatro arcos torales bóvedas de cañón, pudiendo hacerse huecos en los macizos que quedan en los cuatro ángulos (Fig. 173)

2º Adosar cuatro grandes nichos cuyos arcos de frente sean los mismos arcos torales (Fig. 174). La cuestión queda así mejor resuelta, toda vez que el empuje del nicho se verifica hácia el interior de la cúpula

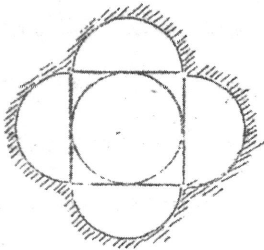


Fig. 174

Puede tambien hacerse una combinación poniendo en dos lados cañones, y en los otros dos nichos, ó lo que se hizo en la Iglesia de los Santos Apóstoles, que fué establecer, en primer lugar, cuatro cañones y adosar á estos los cuatro nichos (Fig. 175). El ángulo se resolvió aligerándole por medio de una pequeña trompa que se prolonga en un nicho, formándose así la planta característica del arte bizantino.

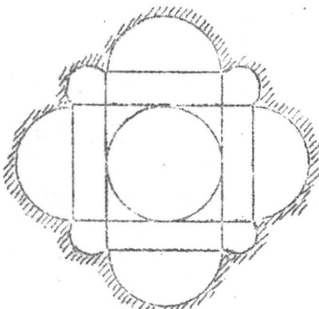
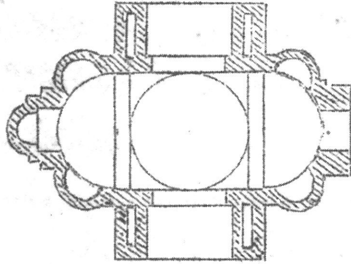


Fig. 175

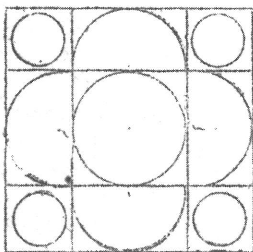
En Santa Sofía se adoptó la solución mixta, colocando, adosados á dos de los arcos torales grandes

nichos provistos de otros mas pequeños que á la vez que sirven de contrarrestos distraen algo las grandes superficies de aquellos (Fig. 176) En los otros dos lados el contrarresto se hace por medio de cañones, habiéndose establecido dos grandes espolones donde estan situadas las tribunas, que constan de dos pisos, cubiertas con bóvedas por arista y vaídas que contrarrestan á la central, estando, ademas, perforadas dichas tribunas con bóvedas de cañon. En la parte V (V. las láminas) no hubo espacio para desarrollar el cañon entero y se redujo á su mitad.

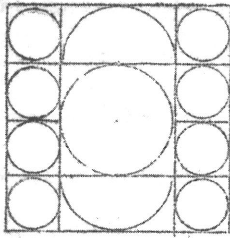

Fig. 176

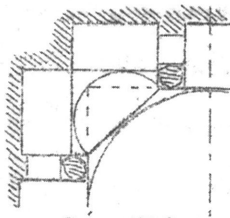
No hay, pues, solución mejor pensada, que la de Santa Sofía, tanto por la diafanidad obtenida como por los contrarrestos sucesivos de elementos mayores por menores.

Contrarrestos árabes. El arte árabe no rechaza, sino que acepta, las soluciones que encuentra, modificándolas según su espíritu. Para estudiar estas variantes supongamos la planta de una mezquita con su gran cúpula central (Fig. 177); está contrarrestada, bien por medio de cuatro grandes nichos, en cuyo caso el ángulo se resuelve con un cupulín, ó bien construyendo solo dos grandes nichos en lados opuestos y corriendo á lo largo de los otros dos lados una galería cubierta con cupulines (Fig. 178)


Fig. 177

Existen, además de estas, otras muchas soluciones


Fig. 178


Fig. 179

de las que se indican algunas en las láminas, llegando hasta desdoblar los apoyos, que, por tanto, habían de ser en número de ocho (Fig. 179), estableciendo nichos entre los de los ángulos, y cañones según los otros lados, y hasta existe una regla para el trazado de estas construcciones, como puede verse en el Choisy.

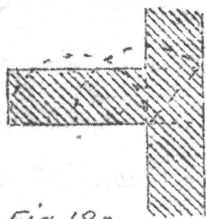
Contrarrestos de la Edad Media.

En este sistema se dejan los contrarrestos libres y aparentes al exterior. Hay, sin embargo, rarísimas excepciones, que son recuerdos de las soluciones orientales, como ocurre en la catedral de Alby, donde los contrafuertes se colocaron al interior, aprovechando para capillas los huecos ó espacios intermedios. Siendo, pues, el contrarresto un elemento aislado de la bóveda podemos estudiarlo perfectamente.

Respecto de la planta del contrafuerte, diremos, desde luego, que debe ser rectangular, situada de modo que la mayor dimensión sea normal al eje de la nave, lo que es evidentemente necesario supuesto que aquel ha de alojar la curva de presiones. La dimensión transversal será dada por el coeficiente de trabajo, pero como quiera que no está muy determinado el punto de aplicación del empuje, no puede exajerarse la relación entre los dos lados de

la planta; además, un contrafuerte muy delgado no resistiría á movimientos transversales.

No es posible fijar de antemano relaciones entre dichos lados que pudieran adoptarse de un modo general, pues dependen estas, no solo de la forma y dimensión de la bóveda, sino de otra porción de circunstancias difíciles de tener en cuenta; hay, sin embargo, algunas reglas prácticas: en los grandes edificios tomaron los constructores de la época para vuelo del contrafuerte, comprendiendo el espesor del muro, el tercio del ancho de la nave, y para grueso el del muro; otras veces, conservando esta última dimensión tomaban un vuelo doble de ella; y, finalmente, determinaban tambien el vuelo por la diagonal del cuadrado construido sobre el espesor del muro como lado


Fig. 180

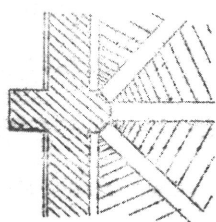
según indica la figura 180, y el grueso del contrafuerte era igual al del muro. Pero lo mejor y mas seguro es hacer en cada caso un ligero trazado de la curva de presiones para determinar así las dimensiones del contrafuerte.

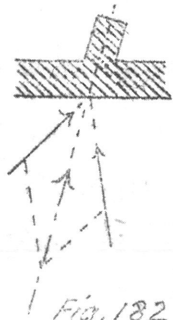
Es posible, aunque pocas veces ocurre, que no afecten la forma rectangular las plantas de los contrafuertes y sean ligeramente trapezoidales, como sucede en la catedral de León, y aún se ven contrafuertes acompañados de columnas.

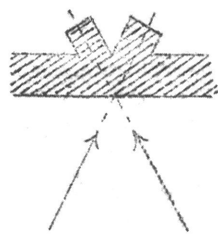
Observemos que, en general, que el contrafuerte no está aislado, sino que se halla adosado á un muro, que viene á ser de cerramiento y no de apeo de la bóveda. Este muro entre cada dos contrafuer-

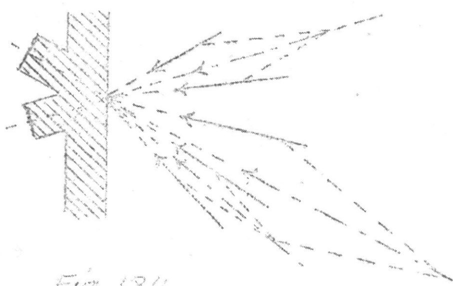
tes ejerce verdadera influencia sobre su estabilidad, y los constructores de la Edad Media admitían que la región de muro que realmente influye mide una longitud igual á su espesor, pudiendo ser suprimida la parte intermedia por no ejercer acción ninguna, y á esto obedecen los grandes ventanales abiertos casi hasta la clave de los arcos formeros. Sin embargo, al calcular los contrafuertes debe prescindirse de la acción del muro.

Hasta aquí hemos supuesto una perfecta simetría en los esfuerzos (Fig. 181); pero si tal simetría no existe por las posiciones relativas de los arcos, se puede adoptar un contrafuerte cuyo eje de planta coincida con la proyección horizontal de la resultante de los empujes (Fig. 182), ó bien se pueden emplear contrafuertes diversos en sentido de los empujes parciales (Fig. 183). Aún cabe reunir los empujes en grupos y contrarrestarlos parcialmente (Fig. 184), pero estas agrupaciones no pueden hacerse arbitrariamente, toda vez que es preciso que el eje de rotación (si esta pudiera tener lugar), sea normal á la resultante final de todo el sistema, lo que se consigue adelgazando y alargando uno de los contrafuertes, ó, si se prefiere, acortando y engrosando el otro. El eje de giro de que hemos hablado es la recta que pasa por los pies de las dos aristas mas alejadas de los contrafuertes.


Fig. 181


Fig. 182


Fig. 183


Fig. 184

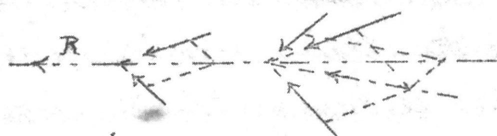
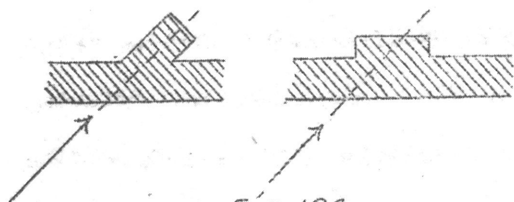


Fig. 185

Cuando hay varios grupos de empujes es preciso disponerlos de manera que sea común la dirección de la resultante (Fig. 185)


Fig. 186

Si en una galería, por ejemplo, hay un empuje oblicuo, en lugar de situar el contrarresto en ese mismo sentido, se pueden cambiar sus dimensiones (Fig. 186) para evitar el mal efecto que produciría á la vista.

Es curioso lo que sucede en el vértice interior del encuentro de dos galerías; en efecto: si estudiamos la composición de empujes en el punto a (Fig. 187) veremos que se obtiene una resultante vertical, luego en dicho punto no hace falta contrarresto, y sí solo un apoyo capaz de soportar la presión vertical. En cada una de las galerías es evidente que se desarrollan esfuerzos en dirección de su eje, y podemos así compararlas á una pieza que estuviese comprimida por sus extremos, y en la que sabemos que, pasando de ciertos límites, se inicia la flexión. Pues bien, esto parece explicar, aparte de las razones estéticas que necesariamente existen, las capillas, pozos, etc (Fig. 188) que se han colocado casi siempre en el centro de esas galerías, y que sirven para evitar la flexión que allí pudiera producirse.

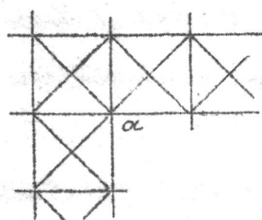
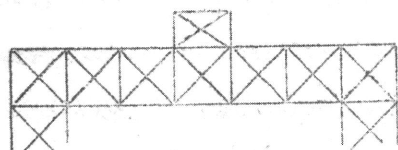
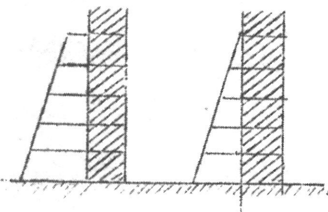


Fig. 187

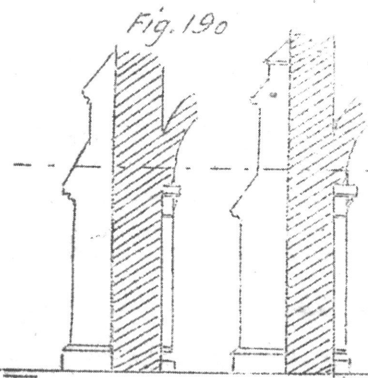

Fig. 188

Estudiemos ahora el alzado del contrafuerte. Si

se hiciese de sección rectangular constante en toda su altura, teniendo en cuenta que ha llegar hasta un punto algo mas elevado que el de paso de la resultante de empujes á traves del muro, claro esta que habría exceso de sección en la parte superior, como fácilmente puede verse, pues aquí la resultante pasa próxima á la cara interior, mientras que abajo se acerca mas á la arista exterior de la base. De esto proviene el que se vean contrafuertes trapezoidales ó triangulares (Fig. 189) que se han construido olvidando la tendencia al deslizamiento de una hilada sobre otra, y precisamente en la parte superior, donde el empuje es mas oblicuo, las piedras son mas pequeñas, particularmente en el contrafuerte de forma triangular.


Fig. 189

Este inconveniente fué causa de que se apelase al recurso de los retallos; el número de estos no es arbitrario; sería lo lógico establecer uno en el basamento y seguir con el contrarresto hasta donde exijiera la curva de presiones, pero comprendiendo los constructores de aquella época la conveniencia de aumentar la carga del contrafuerte con objeto de acortar la salida de la curva de presiones, le prolongaron por la parte superior, pero reduciendo su vuelo hasta que la planta rectangular se convirtiese en cuadrada, cosa conveniente para recibir el pináculo del remate; pero lo que generalmente se hizo fué sustituir este retallo por dos (Fig. 190) simétricamente colocados res-


Fig. 190

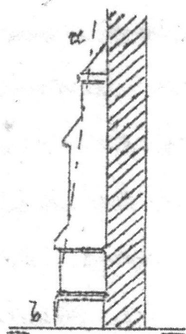
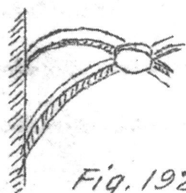


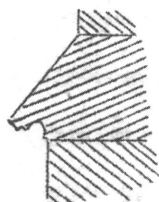
Fig. 191

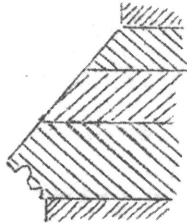
pecto de él. Los constructores de la Edad Media siguieron una regla practica, que consistía, en el caso de haber varios retallos, en hacer que las aristas interiores estuviesen en un plano, cuya traza es la indicada por la línea ab en la figura 191.

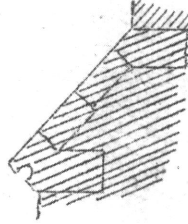
Hemos dicho que el objeto de la prolongación del contrafuerte era disminuir la salida de la curva de presiones, pero al mismo tiempo sirve esa prolongación de contrarresto á los muros superiores, que, además de no ser gruesos, pueden sufrir empujes procedentes de las hiladas de tímpanos que tengan bombeo (Fig: 192)

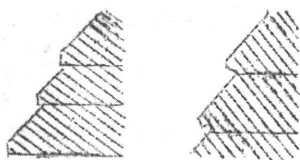

Fig. 192

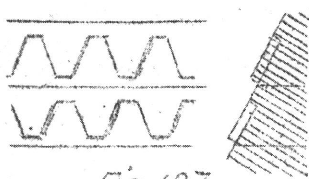
Respecto de los detalles de construcción diremos que el macizo del contrafuerte, si es de cantería, debe estar ligado con el del muro, y si es de sillarejo debe tener en los ángulos cadenas de sillares. Los vierte aguas, que tambien serán de piedra han de construirse con gran cuidado por ser la parte mas expuesta á las influencias exteriores y por donde el elemento puede perecer. Si es posible deben ser de una pieza (Fig. 193); en el caso de que el contrafuerte sea grande se despieza el vierte aguas por hiladas horizontales (Fig. 194), y tambien puede hacerse la parte superior y la inferior cada una de una pieza y la intermedia de losas gruesas con las juntas normales á la superficie (Fig. 195).


Fig. 193

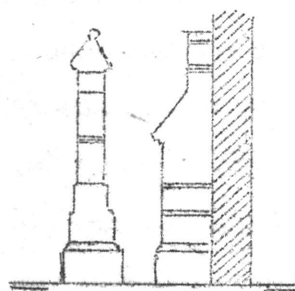

Fig. 194


Fig. 195


Fig. 196


Fig. 197

Cabe aún construir los vierte aguas despiezados por hiladas horizontales, pero provista cada una de un pequeño chaflán ó goterón (Fig. 196) ó escamando su superficie (Fig. 197) con objeto de que se sequen pronto después de las lluvias, pues además de causar el agua otros perjuicios, produce cambios de mal efecto en el color de la piedra. En todo esto hay disposiciones variadísimas que caracterizan la época en que fueron adoptadas, y así se ven contrafuertes en los que el goterón corre por las tres caras, y aún se encuentran algunos dispuestos en la forma que indica la figura 198.


Fig. 198

Hasta aquí hemos supuesto que se trataba de una construcción con una sola nave, pero en el caso muy general de tres ó más naves, el problema se complica.

Supongamos primeramente que se presenta el caso de que sean tres las naves, una alta y dos bajas. La determinación de los contrarrestos comprende entonces dos problemas, que son: 1º contrarresto de los empujes en los pilares intermedios a a (Fig. 199); 2º contrarresto de los empujes que concurren en el punto b del muro exterior.

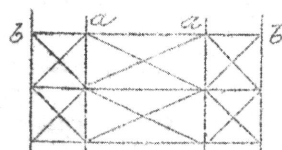
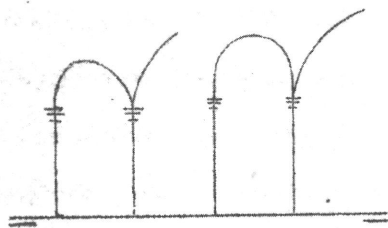


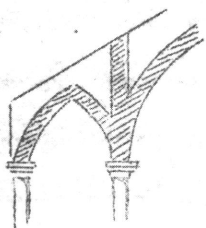
Fig. 199

Respecto de la primera cuestión á resolver, es evidente que si las naves fuesen de igual luz, los empujes serían iguales y simétricos, y darían una resul-

tante vertical, ó casi vertical, quedando dé facilmente reducido el problema á dar al pilar la seccion necesaria para soportar la presión que sobre él se ejerce; esto es lo que sucede en la Catedral de Zaragoza, que consta de cinco naves de igual altura proximamente, y los empujes van neutralizándose, quedando solo contrarrestos al exterior

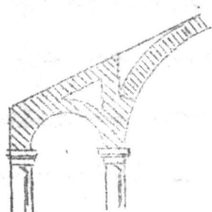
Pero el caso mas general es el de que las naves no sean de la misma altura, y entonces los pilares intermedios tienen que actuar como verdaderos contrarrestos, lo que exije una gran masa y la consiguiente ocupación de espacio; para evitar esto puede disponerse el arco de la nave baja convenientemente, ya sea variando su forma (Fig. 200) ó peraltándole (Fig. 201), y tambien se puede sobrecargarle, lo que no siempre se hace engrosando el arco menor, sino por medio de una aleta colocada sobre él (Fig. 202) procedimiento que tiene la ventaja de que el empuje total no ha de ser contrarrestado por el pilar interior, toda vez que parte de él se trasmite por medio de dicha aleta al contrarresto del exterior.


Fig. 200 Fig. 201


Fig. 202

El calado de la aleta para evitar el exceso de sobrecarga dá origen al arbotante (Fig. 203)

Examinemos ya este elemento; en su principio el arbotante era de forma de cuadrante, y su verdadero origen se atribuye por algunos á que en las antiguas catedrales habia tribunas ó


Fig. 203

galerías altas (por ejemplo, la catedral de Gerona), cubiertas con un medio cañón que se apoyaba ó intestaba en el muro de la nave central; pero resulta que de esta bóveda solo es utilizable la parte que corresponde á los puntos donde hay empujes, es decir, á los pilares; en los espacios intermedios, lejos de ser útiles esas bóvedas producen empujes hácia el interior que quedan sin contrarrestar. En vista de esto, lo que se hizo fué conservar de dichos cañones las partes útiles y suprimir los trozos intermedios, quedando así una série de arcos sueltos, principio de los arbotantes en forma de cuarto de círculo. Encima de estos arcos se dispuso una armadura á un agua y cuyos pares se apoyaban sobre el trasdós de aquellos; pero todavía se hizo mas, y fué que los arcos resaltasen sobre la armadura, apareciendo por encima de la cubierta una série de nervios salientes protegidos por una albardilla con su vierteaguas al tejado (V. las láminas). Tal disposición tenía, sin embargo, un inconveniente por las malas condiciones en que estaban para la iluminación las iglesias, y por esta causa se prescindió de la armadura dejando los arcos excentos, lo que permitía abrir grandes ventanales entre cada dos arbotantes.

La forma de cuarto de círculo que se adoptó para el arbotante no es la mas á propósito como desde luego se comprende: En efecto, sea R (Fig. 204) el empuje que es necesario contrarrestar descompongámosle en dos, uno horizontal r (que se contrarresta con el arbotante que suponemos sea un cuarto de círculo) y otro vertical r' que es la presión ejer-

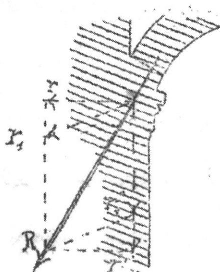
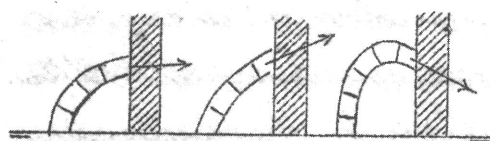


Fig. 204.

cida sobre el pilar; ahora bien, si suponemos que el arbotante no es un cuadrante, dará un empuje oblícuo, y si descomponemos el R en uno r_1, opuesto al de aquel elemento, y otro r_1' vertical, es evidente que este será menor que el r' hallado antes, es decir, la presión vertical que va á soportar el pilar será menor, y en la misma proporción disminuirá la sección necesaria de este apoyo, lo que es muy conveniente para obtener la mayor diafanidad posible. De esta manera será preciso dar al contrarresto exterior la resistencia que necesita para sufrir el empuje de las naves, trasmitido por el arbotante, mas el propio empuje de este, puesto que es un arco.

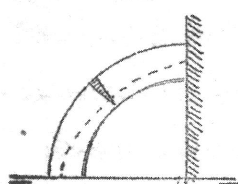
Se deduce, pues, que no se puede fijar de antemano la forma de los arbotantes, debiendo estudiarse en cada caso particular cual sea la mas conveniente para obtener el fin que el constructor se propone, pues hasta pudiera ser necesario, por las condiciones de la resultante de presiones de la bóveda, un contraempuje, no horizontal ni inclinado en sentido ascendente, sino descendente (Fig. 205)

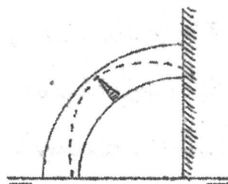

Fig. 205

Las dimensiones del arbotante deben ser las exijidas para producir un empuje igual y contrario al que se quiere contrarrestar, pero dentro de esta condición ha de procurarse que sean lo mas ligeros posible, teniendo en cuenta, sin embargo, que el coeficiente de trabajo no ha de pasar del admisible

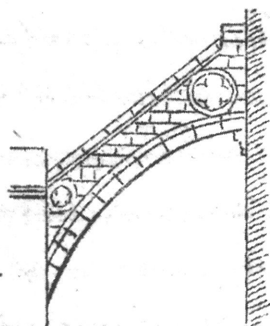
Lo que podrá suceder en un arbotante es que se deforme bajo la acción del empuje por no estar cargado, y al efecto recordemos lo que ocurre en los arcos cuando

tienen mucha carga ó están muy descargados: en el primer caso la curva de presiones se aproxima al intradós (Fig. 206) y la junta tiende á abrirse por arriba; en el segundo caso ocurre lo contrario (Fig. 207): de modo que ni uno ni otro extremo son convenientes. Para obtener un término medio se trasdosa el arbotante según una recta, lo que además de resolver la cuestión trae consigo la ventaja de amparar mayor porción de muro.

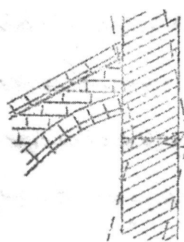

Fig. 206


Fig. 207

Este trasdosado se apareja por hiladas horizontales, y si conviene tener mucho espesor y no cargas, se emplean algunos calados, que al mismo tiempo dan á la fábrica mayor aspecto de ligereza. Pero cualquiera que sea su forma este trasdosado no puede quedar al aire y es necesario protegerle con una albardilla con sus correspondientes vierteaguas y goterón (Fig. 208). Esta albardilla, además de llenar su misión, produce un efecto mecánico análogo al que haría un puntal colocado en su lugar; la prueba de ese trabajo de la albardilla está en que se encuentran algunas deformadas.

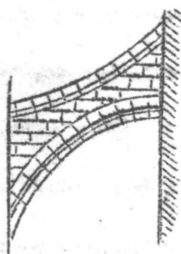

Fig. 208

Puede haber, en efecto, una causa accidental que haga que el empuje tienda á salirse del perfil transversal del arbotante (Fig. 209) produciendo aberturas de juntas en su intradós y en el interior del muro y compresión en los sillares de la albardilla.

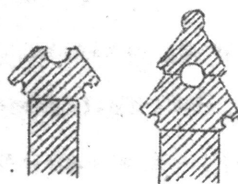

Fig. 209

Esto ha conducido á aparejar las albardillas por

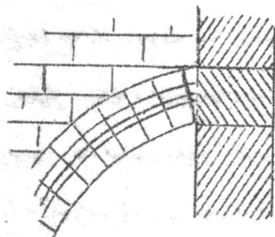
hiladas normales, y aún se ha llegado á la exageración de construirlas á manera de otro arco invertido con relación al del arbotante (Fig. 210)


Fig. 210

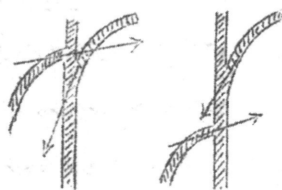
La albardilla va provista, como se ha dicho, de dos vierteaguas y un goterón, pero se utiliza algunas veces para conducir las aguas procedente de la cubierta de la nave alta, para lo cual se adopta una de las disposiciones indicadas en la Fig. 211.


Fig. 211

Desde luego se comprende que el arco, verdadero arbotante, se despieza como un arco cualquiera, pero se presenta el problema de su unión con el muro; esta se efectúa por medio de un sillar pasante en el cual va intestar el arbotante (Fig. 212) que en ningún caso debe entrar en el muro, pues toda deformación de este produciría en aquel trastornos de graves consecuencias.


Fig. 212

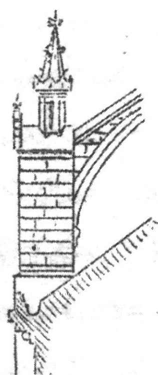
El punto de aplicación del arbotante debe colocarse á una altura conveniente y perfectamente estudiada; demasiado alto ó demasiado bajo con relación al punto de paso del empuje por el paramento del muro, con este empuje y el del arbotante se origina una especie de par de fuerzas (Fig. 213) capaz de dislocar la parte intermedia del muro.

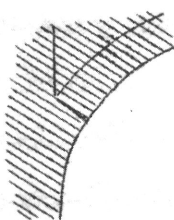

Fig. 213

Es preciso, pues, aplicar el arbotante en la región en que va á obrar el empuje, región que no puede definirse con precisión, pues sabido es que el trazado de una

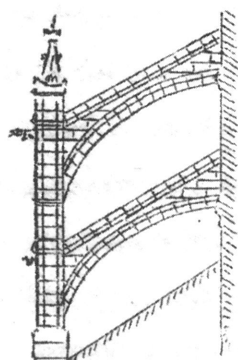
curva de presiones está basado en cierto número de hipótesis mas ó menos próximas á la realidad, y aún cuando dicha región se pudiera determinar con entera exactitud, la curva puede variar obedeciendo á movimientos de asiento ó á otras causas; por consiguiente tenemos que conformarnos con buscarla entre ciertos límites de posición que satisfagan las funciones que el arbotante está llamado á desempeñar.

Queda, de esta forma constituido el arbotante en buenas condiciones, pero hay que tener presente que es un arco, que no solo va á producir un empuje, sino que va á transmitir parte de otro procedente de la nave alta, y que, por lo tanto, necesita su contrarresto (Fig. 214), el cual se dispone al exterior, siguiendo para ello las reglas indicadas al tratar de los contrarrestos en iglesias de una sola nave. La unión del arbotante con el contrafuerte se hace como se indica en la Figura 215, (V. las láminas). Este contrafuerte sirve á su vez para contrarresto de las bóvedas que cubren la nave baja.


Fig. 214

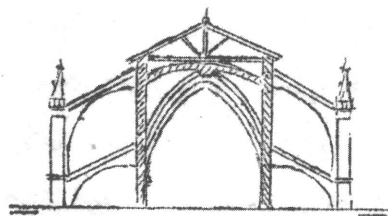

Fig. 215

El arbotante puede ser doble y aún triple, pero esto último no es frecuente. Cuando los arbotantes son dobles se disponen de manera que vayan á parar á un mismo contrafuerte (Fig. 216), teniendo cuidado en el punto de aplicación: el inferior suele ponerse sobre el arranque de la bóveda á una altura igual al espesor del muro, porque se calcula que ese viene á ser


Fig. 216

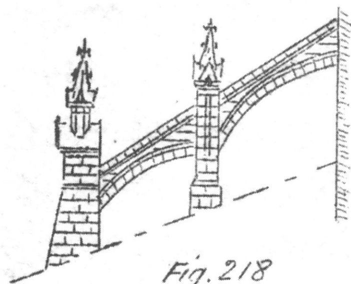
el punto de paso de la resultante, y el segundo á los dos tercios de la altura.

Se presenta aquí una cuestión á resolver, y es la razón que motiva los segundos arbotantes; desde luego hay una poderosa, y es el caso en que los témpanos tengan bombeo; pero también parece que aquellos elementos de contrarresto pueden desempeñar otro oficio, pues la acción del viento, actuando sobre los muros se transmite, merced á los tirantes de la armadura y demás partes de la construcción, á los muros opuestos, viniendo en este caso los segundos arbotantes á contrarrestar ese empuje (Figura 217)


Fig. 217

Hay que tener cuidado de que los arbotantes superiores no vayan á empujar al vacío, para lo que, si el enjutado de la bóveda no alcanza se establecen lengüetas en forma de espolones para que no carguen sobre la bóveda

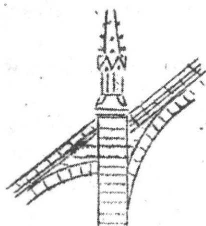
Ocurre á veces en las iglesias de cinco naves, que es necesario salvar dos de ellas: esto puede hacerse por medio de dos arbotantes que se enlazan á un pilar intermedio, ó por arbotantes de doble vuelo que salven de una vez las dos naves.


Fig. 218

La primera solución es mucho mas sencilla (Fig. 218) toda vez que son fáciles de combinar los empujes, y merced al pilar intermedio se consigue la disminución del que llega al contrafuerte exterior, porque parte de él se anula por dicho elemento. En esta solución hay que cuidarse mucho de la colocación relativa de los dos arbotantes y espre-

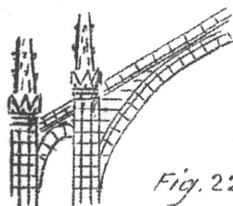
ciso tener en cuenta para ello que el arbotante exterior viene á cumplir, respecto del otro, el mismo servicio que un arbotante sencillo respecto de la bóveda que contrarresta.

Si se colocan las albardillas una á continuación de otra, los dos arbotantes harían el mismo trabajo que uno solo, y para evitarlo se ponen aquellas á diferente altura (Fig. 219); pueden, sin embargo, quedar á una altura igual trasdosando el arbotante mas bajo alijerándole con calados para evitar cargas excesivas, y, como en todos los casos análogos conviene colocar sobre el pilar intermedio pináculos y otros elementos que con su peso acorten la salida de la curva de presiones.


Fig. 219

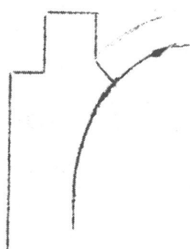
La segunda solución, que consiste en salvar las dos naves bajas, no exije otras reglas ni precauciones que las indicadas al tratar de los arbotantes en general, pero hay que tener en cuenta la mayor dificultad de la construcción por la gran luz del arco que es necesario emplear. Este sistema ha sido adoptado en Notre Dame de Paris (V. las láminas).

Algunas veces, como ocurre en la catedral de Beauvais, se ven arbotantes dobles, aún cuando se trate de iglesias de tres naves; pero en tal caso el arbotante exterior es pequeño, formado solo por dos ó tres piedras; lo que se consigue así, mas bien que un arbotante doble es un desdoblamiento del apoyo para disminuir la masa sin perjuicio de la estabilidad, haciendo el arbotante pequeño (Fig. 220) un efec-


Fig. 220

lo semejante al que haria una tornapunta.

Antes de terminar lo relativo á esta parte de la construcción vamos á hacer algunas indicaciones respecto de los contrafuertes que se colocan al exterior como contrarrestos de los arbotantes. Se trasmite por estos un empuje que necesita otro elemento que le equilibre, y este es el contrafuerte exterior, al cual es aplicable lo que se dijo al tratar de los contrarrestos en iglesias de una sola nave. Algunas veces ocurre que estos contrafuertes corresponden á la via pública, y entonces hay que reducir su vuelo, lo cual se consigue acortando la salida de la curva de presiones por medio de pesos colocados á plomo con aquellos elementos; pero como en determinadas ocasiones esto no basta, por no poder darse peso ni altura limitada, lo que debe hacerse es cargar sobre el arbotante, (Fig. 221), y de este modo claro es que se acortará la salida de la referida curva de presiones.


Fig. 221

Hay que procurar, al hacer esto, que no se deforme el arco, para lo cual se le despieza por hiladas horizontales en su arranque y luego se continúa en forma de dovelas.

CUBIERTAS

Tienen por objeto despedir las aguas de lluvia evitando que penetren en el interior del edificio.

Las condiciones de una buena cubierta se deducen facilmente de su destino y pueden reducirse á las siguientes: impermeabilidad, ligereza, decoración, resistencia del material y solidéz, y tambien sería conveniente la incombustibilidad así como que fuesen absolutamente impermeables pero es dificil reunir todas estas cualidades en un solo material.

Las cubiertas de piedra pueden clasificarse en dos grupos: cubiertas de piedra natural y cubiertas de piedra artificial.

En las primeras se emplea el material tal y como se encuentra en la naturaleza, y solo hay que darle forma adecuada; en las segundas el material se emplea convenientemente modificado.

Cubiertas de piedra natural

Hay varios tipos, pero los mas importantes son el tejado empleado por griegos y romanos y las cubiertas de pizarra.

El procedimiento que á primera vista parece mas sencillo para resolver la cuestión de que nos ocupamos consiste en dar á la bóveda por su parte exterior tal

forma conveniente para despedir las aguas pluviales sin necesidad de emplear nuevos elementos, ya sea disponiendo retallos, ó dejando vierteaguas, etc, como tuvimos ocasión de ver al tratar de las agujas ó chapiteles; y tambien se puede disponer esa superficie exterior formando escamas, como indica la figura 222, correspondiendo las juntas á su centro.

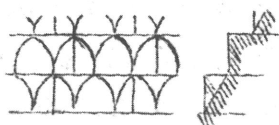


Fig. 222

En general, para dar forma adecuada á la superficie, habrá que trasdosar y añadir un peso extraordinario al recrecer, con capas de hormigón, por ejemplo, hasta llegar á la pendiente necesaria para que el agua resbale sin dificultad, pero si á través del hormigón se produjeran filtraciones, no serían advertidas hasta que apareciesen manchas en el interior de la fábrica; por lo tanto no es admisible este procedimiento.

El problema queda completamente resuelto desde el momento en que se establezca perfecta independencia entre el techo interior y la cubierta exterior, porque desde luego queda entre ambos elementos el suficiente espacio para la vijilancia, reparaciones y ventilación, lo cual contribuye mucho á que la construcción se conserve en buen estado. Consiste el sistema en tender losas sobre arcos formeros por el tranquil espaciados convenientemente, haciendo descansar dichas losas, si fuer. preciso, sobre correas, que á su vez se apoyan sobre los arcos; esta cubierta tiene, sin embargo, el inconveniente de producir grandes cargas sobre los apoyos inferiores, lo que no ha sido obstáculo para que fueran muy empleadas en determi-

nadas épocas. . . .

Como detalle diremos que las losas se enlazan entre sí á tope en sentido de las líneas de máxima pendiente (Fig. 223), y van provistas de unos bordes convenientemente dispuestos para alejar el agua de las juntas. En el sentido de las horizontales se colocan las losas tambien á tope, pero sin reborde alguno que proteja la unión, por la cual podrá penetrar el agua, pero es recibida por un canal que corre horizontalmente por debajo de la junta apoyado sobre el trasdós de los arcos formeros, cuya disposición se ha indicado ya; estas canales tienen sus verkderos de trecho en trecho.



Fig. 223

El procedimiento de las canales bajo la cubierta que queda descrito fué preciso adoptarle tambien en el caso de que la cubierta de la nave baja fuese á dos aguas como ocurre en la catedral de León; en efecto, es preciso dar salida á las aguas que se depositan en a (fig. 224) y esto se consigue por medio de canales colocadas sobre espigones que á su vez se apoyan sobre los arcos formeros de la nave baja, desaguando aquellas al exterior por gárgolas.

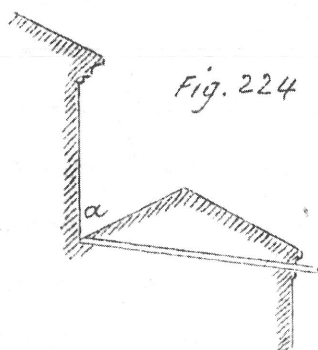
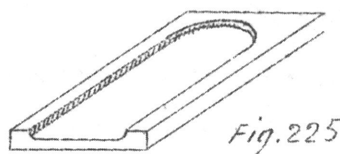


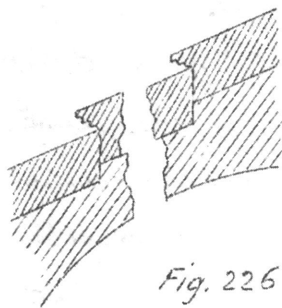
Fig. 224

El sistema de cubierta que hemos reseñado ha tenido algunas modificaciones. En Nuestra Señora de Paris, por ejemplo las losas van colocadas en el sentido de la máxima pendiente como se ha dicho, al tope y con sus correspondientes rebordes, pero las juntas horizontales estan solapadas, de modo que el agua que

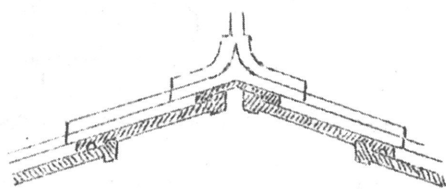
escurre por una losa (Fig. 225) es recibida por el rehundido de la inmediata inferior (V. las láminas)


Fig. 225

En la basílica del Sagrado Corazón que se construye en Montmartre se ha dispuesto la cubierta de piedra empleando ciertos elementos que solapan unos sobre otros, dejando escurrir el agua merced al goterón de que van provistos (Fig. 226). Dichos elementos se asientan sobre retallos dejados en el trasdós de arcos que se han dispuesto en sentido radial en la parte del ábside, y normales al eje de la nave en el resto del edificio.


Fig. 226

El tejado de piedra prototipo es el griego, que á sus buenas condiciones reune la de dar al edificio aspecto verdaderamente monumental. Dos elementos forman la cubierta: la "cobija" y la "canal". Las canales son planas, y van provistas de rebordes que hacen innecesarios los grandes solapos. (Fig. 227), y como quiera que con esta disposición podría suceder que el agua penetrase, por un efecto de capilaridad, entre las superficies en contacto, se adoptaron unos pequeños rebajos que impedían aquella acción. Este tejado, á pesar de sus buenas condiciones, no es de gran aplicación por el mucho coste de su labra especial.


Fig. 227

Entre los tejados de piedra natural figuran los de pizarra. Sabido es que esta se obtiene de la división por choque del esquisto en hojas; se regulariza lue-

go su forma, dándole, en la parte inferior, la de un rombo, ó circular ó de arco ligeramente apuntado.

La impermeablilidad de esta cubierta es debida á la exajeración de pendientes y á la magnitud de los solapos. Lo primero aumenta las dificultades de la armadura, y lo segundo aumenta la carga que esta va á soportar. Además, la humedad, que queda entre las hojas en contacto en la parte solapada, puede llegar á alterarlas y aún á descomponerlas, pero en general esta cubierta es resistente, duradera y económica.

Se distinguen dos modelos: pizarras de pequeñas dimensiones cuando no exceden de 0.m40 ó 0.m42 de longitud por 0.m21 á 0.m28 de ancho; y pizarra de grandes dimensiones cuando pasan de esos límites. Las pequeñas llevan gran número de juntas y por tanto hay mayores probabilidades de que penetre el agua; y por esto exijen exajeración de pendientes y grandes solapos, que nunca deben ser menores de los dos tercios de la longitud de la pizarra, lo que produce tres espesores en cada punto de la cubierta, aumentándose mucho el peso y con el riesgo que ya hemos indicado por la penetración de la humedad.

Para asentar la pizarra se establece un entablado de ripia sobre los contrapares, y hay que tener cuidado de que las tablas no solapen, ni aún se toquen por los bordes con objeto de que al hincharse la madera por efecto de la humedad, no se deforme el conjunto.

En este entablado se clava la pizarra por líneas horizontales, empezando por el alero y marchando hácia el caballete, sujetándose cada pizarra con dos clavos, que deben estar preparados para que su

oxidación no perjudique al material que por esta causa pudiera llegar á rajarse, sobre todo si es estriado. Estos clavos, llamados de empizarrar tienen cabeza ancha para que sujete, y chata para que no estorbe el solapo con la pizarra inmediata superior.

Si no se quiere entablar, puede formarse una cama de yeso de un centímetro de espesor, próximamente; para ello, sobre rasillas huecas que descansan á su vez sobre los contrapares, se hace el encamado y en él se clavan las pizarras, evitándose de este modo los inconvenientes de la tabla, que se alarquilla, merma, etc.; además, como el clavo se oxida entre el yeso queda mas agarrado.

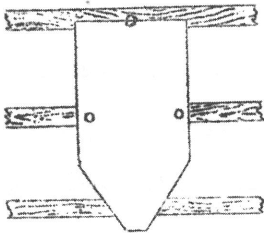
La pizarra de grandes dimensiones se emplea bastante en la actualidad; llega su tamaño á 0m60 × 0m30 ó 0,32. Tiene sobre la de pequeñas dimensiones, la ventaja de su mayor duración, porque forzosamente han de ser de buena calidad para obtener piezas de gran tamaño y esto también exije mayor espesor, que produce mayor resistencia. Estas pizarras permiten también disminuir la pendiente del tejado por el menor número de juntas, y para asentarlas pueden emplearse solo listones en lugar del entablado contínuo.

El recubrimiento ó solapo debe ser un poco mayor que la mitad de cada hoja á fin de que la tercera pizarra pise algo sobre la primera en una extensión de 8 ó 10 centímetros próximamente, cantidad que puede disminuirse cuando se aumente la pendiente.

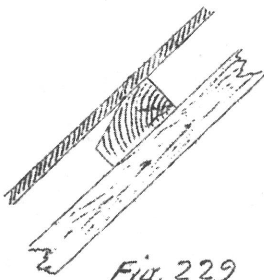
Estas pizarras deben sujetarse con clavos de cobre

o galvanizados, que, aunque cuestan algo mas caros, son de mejor resultado

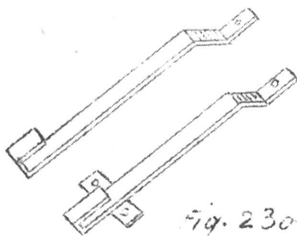
No deben clavarse las hojas solamente por la parte superior, pues el viento tiende á levantarlas; deben colocarse dos clavos, uno á derecha y otro á izquierda (Fig. 228) sobre el liston que corresponde al medio de la pizarra, y luego se pone un tercero en el borde superior de manera que su cabeza pique un poco la losa.


Fig. 228

El enlistonado tiene la ventaja de la ventilacion que tan indispensable es al material. No conviene que los listones sean de seccion rectangular para evitar superficies planas en contacto que conservan la humedad, y lo que se hace generalmente es disponerlos con corte á la berengena (Fig. 229) ó sea de seccion trapezoidal, y así se establece solo el contacto por el lado menor de este trapecio.


Fig. 229

En algunas localidades donde reinan fuertes vientos se ha tomado la costumbre, para asegurar mejor la pizarra, de sujetarla, á mas de los clavos, con unos ganchos ó corchetes de alambre ó llantilla ligera que cojen la pizarra por el borde inferior (Fig. 230). Estos corchetes van provistos algunas veces, hácia su punto medio, de dos patillas destinadas á ser cogidas por las dos pizarras laterales, quedando así asegurada aún mas la invariabilidad de estos elementos. (V. las láminas)

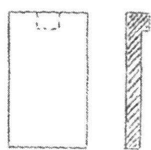

Fig. 230

Tejados de piedras artificiales. Son de varias clases: veamos en primer lugar aquellos que se forman con elementos de barro cocido, en cuyo caso estos se llaman tejas.

Las tejas admiten numerosas y variadas formas, algunas de las cuales son conocidas desde muy antiguo. Este material se presta admirablemente á ser trabajado y solo algunos sistemas presentan el inconveniente de resultar el tejado con excesivo peso, pero en cambio las ventajas que ofrecen son grandes por su economía, inconductibilidad, fácil colocación, etc. Todas las formas que se dan á las tejas pueden considerarse comprendidas en tres grupos: tejas planas, curvas y mixtas.

Para el estudio de los tejados de barro en general los dividiremos en dos épocas, la antigua y la moderna.

Los tejados antiguos hallábanse formados con tejas planas, tabletas de barro cocido, de forma cuadrada ó rectangular, á veces curva ó apuntada en su parte inferior, de poco grueso, fijadas con clavos, á cuyo efecto se hacían en cada tableta dos taladros, ó lo que era mejor, se dejaba una especie de perón para colgarlas, según indica la figura 231, disponiendo para ello un enlistonado sobre la armadura, que de este modo no tenía necesidad de entablarse. Pero ocurre en dicho sistema que los solapos tienen que ser grandes por haber muchas juntas, y además, siendo el material muy absorvente favorece la acción capilar entre las juntas en contacto, lo que hace necesarias grandes pendientes en las armaduras. Si se solapan los dos tercios, poco mas ó menos, como es conveniente, resulta el te-

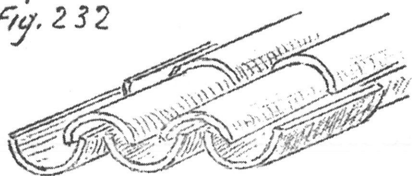

Fig. 231

jado muy pesado, y, finalmente, depositándose en las juntas el polvo y gérmenes orgánicos se da lugar á la vejetación, que con sus raicillas perjudica la cubierta puesto que son conductoras de la humedad, siendo preciso para evitarlo, frecuentes limpiezas.

Todos los inconvenientes que quedan enumerados son causa de que se use poco esta clase de tejas, pues si bien podria hacerse desaparecer la porosidad que es causa de la absorción barnizándolas ó esmaltándolas (lo que se presta á la decoración) no por eso dejarian de subsistir los demas inconvenientes, á los que habria de añadirse el mucho coste del esmaltado.

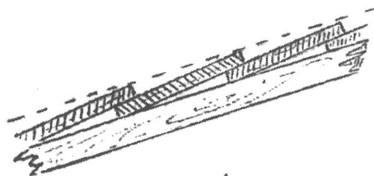
No sucede lo mismo con el empleo de las tejas curvas, llamadas tambien árabes, que presentan muchas ventajas aunque tampoco esten exentas de algunos inconvenientes. Dichas tejas son de forma tronco-cónica y sirven de canal ó de cobija según su colocación. El tejado se forma con gran facilidad, valiéndose el operario de una cuerda con la que se marcan las líneas de máxima pendiente, según las cuales se colocan las filas de tejas, dos de canales y una intermedia de cobijas sobre las primeras (Figura 232)

Fig. 232



Para que las tejas hagan buen asiento, dada la forma curva que tienen, es necesario calzarlas con nudos de barro que impiden su oscilacion al apoyarse sobre una de las generatrices.

Para facilitar mas este asiento se prepara la cubierta con un entablado de ripia, pero solapan-


Fig. 233

do las tablas de abajo á arriba (Fig. 233) para dificultar el deslizamiento de las tejas y del barro que las calza. Este sistema es conocido con el nombre de colocar las tejas á torta y lomo. La cobija puede recibirse también con algo de barro.

Cuando se coloca la teja en seco, sin barro ninguno el tejado se llama á teja vana, y entre las diversas soluciones que se han ideado para sujetar las tejas en este caso, hay una que consiste en el establecimiento de listones siguiendo las líneas de máxima pendiente y colocando las canales encajadas entre dos de aquellos.

El solapo aquí es variable con la pendiente, pero nunca debe ser menor de $\frac{1}{5}$ de la longitud de la teja, que, por regla general mide pié y medio, pero no es la misma en todas las localidades y hasta varía también según los tejares.

Antiguamente se hacían las tejas para canales mas anchas que las de cobija y así quedaban las primeras mas desahogadas y se facilitaba la limpieza del tejado, pero en la actualidad se emplea el mismo modelo para ambos usos.

La teja árabe no puede aplicarse en pendientes mayores de 29 ó 30° porque resbala, ni en pendientes inferiores á 25°, pues no correría el agua. Respecto del arco de la sección transversal debe procurarse que llegue á valer 120° (Figura 234) para que el agua no se salga fuera de la teja.

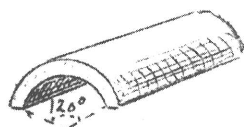


Fig. 234

Tiene este tejado los inconvenientes de su mucho peso, vejetación entre las juntas, etc., como hemos tenido ocasión de observar, pero en cambio ofrece la ventaja de facilitar su uso el no exigir mas que un modelo único de teja, sin influir para nada la mayor ó menor deformación del material en la cochura, cosa que no sucede en otros sistemas; y, finalmente, corriendo el agua por el centro de la canal, se aleja, por la forma de ésta, de las juntas, circunstancia muy importante.

Como último detalle práctico de estos tejados, diremos que los albañiles se valen de un listón para dejar igual solapo en todas las tejas.

En cuanto á la teja mixta, existe variedad grande de tipos, pero solo nos detendremos á reseñar dos.



Fig. 235

En el primero aparecen como fundidos en un solo elemento la canal y la cobija (Fig. 235); esta teja es cara, y exije fabricación esmerada, pues las deformaciones producidas en la cochura pueden llegar á inutilizar las piezas. Debiendo cabalgar cada teja sobre la inferior, es claro que su proyección deberá ser un trapecio y no un rectángulo.

El segundo tipo está constituido por la teja llamada flamenca ú holandesa que consiste en reunir los dos elementos de la teja árabe en uno solo (Fig. 236) provisto de su correspondiente pezón para ser colgados; este sistema es muy ventajoso para las grandes pendientes empleadas en las cubiertas del país de su procedencia. Resulta así el tejado ligero y excelente, pero en España no se emplea

porque tampoco se usan las armaduras belgas ú holandesas. Hay que tener la precaución de despicar algo las tejas para facilitar los encuentros.

Tejados modernos. Los sistemas anteriores tienen, como se ha dicho, ventajas é inconvenientes; los tejeros modernos se han propuesto descartar los segundos y reunir todas las primeras en un solo modelo; la característica de la teja moderna es, pues, la mayor perfección en la ejecución para conseguir aquel fin.

Empecemos por indicar que actualmente se hacen las tejas, no á mano, como las antiguas, sino por medios mecánicos, por presión, lo que permite formas mas complicadas que tienen por objeto evitar los solapos. Queda, sin embargo, por resolver un detalle de fabricación, que es conseguir que al ser la teja sometida al fuego para su cocción no experimente deformaciones ó contracciones que perjudiquen los ajustes, como en el caso de que la unión de las piezas se haga por medio de lengüetas, pues es fácil que estas, que antes de la cocción entraban perfectamente en las correspondientes ranuras no entren lo mismo después de verificada aquella operación. La manera de prevenir esto es hacer que todo el barro sea completamente homogéneo y el calor para la cocción uniforme, único medio de aproximarse al fin perseguido.

Los principios en que se fundan los infinitos modelos existentes, son: 1º emplear la teja de forma plana, colgada por medio de uno ó varios pezones, algunas veces con clavos, haciéndola así utilizable pa

ra todas las inclinaciones; 2º llevar el agua lejos de las juntas, para lo cual se levantan los bordes; y 3º evitar los solapos con ranuras y lengüetas.

Todos los modelos pueden reducirse á dos: el rectangular y el de forma de rombo ó escama. El primero (Fig. 237) es mas util y el segundo mas decorativo, pero en este perjudican los diferentes cambios de dirección que sufren los filetes líquidos hasta llegar al alero.

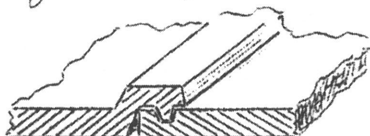


Fig. 237

Puede citarse tambien otro sistema llamado de tejas a la italiana, empleado por Sabatini en el palacio de Villahermosa en Madrid, y consiste en dar á las tejas la forma de cuadrados, y colocarlas según una diagonal, convenientemente provistas de rebordes (Fig. 238) para ser cogida cada una por las dos adyacentes superiores y coger las dos inferiores. Además, cada teja va colgada por medio de un pequeño pezón. Claro es que este tejado exige una perfecta igualdad entre todos sus elementos.

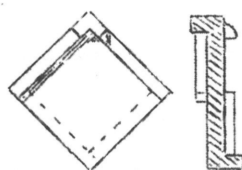


Fig. 238

Descritos ya los principales sistemas de tejados de piedra, vamos á ocuparnos de detalles de construcción que es preciso tener presentes en los accidentes diversos que suele ofrecer un tejado, y que pueden resumirse en caballetes y limas ya sean estas tesas ú hoyas.

Caballetes. Son partes que exijen algún cuidado por las formas especiales de los materiales. Si son cubiertas de pizarra es evidente que tratándose de un elemento rígido no se le puede amoldar á la forma del caballete, y lo único que puede hacerse en tejados de poca importancia es volar las pizarras de un tendido sobre el otro (Fig. 239) teniendo siempre cuidado de buscar la dirección de los vientos reinantes en la localidad. Pero cuando no parezca conveniente adoptar este procedimiento, puede



Fig. 239

recurrirse al empleo de piezas especiales (Fig. 240) de barro esmaltado, colocadas sobre el caballete y cogiendo las pizarras de ambos faldones.

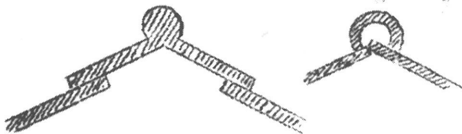


Fig. 240

Preferible es el sistema de cubrir el caballete con láminas de plomo solapadas sobre la pizarra y sujetas, bién sea por medio de pequeñas patillas, ó bién con clavos, teniendo cuidado de soldar luego las cabezas de estos. Si se desea mayor seguridad, se coloca la plancha de modo que coja la hilera (Fig. 241), suplementando esta, si es preciso, con una pieza de madera, como ocurre en el caso de que quiera dejarse un paso de cuarenta ó cincuenta centímetros de ancho (V. las láminas)

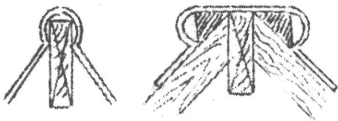


Fig. 241

Si se trata de cubiertas de teja árabe, se hace el caballete con una fila horizontal de tejas, que antiguamente se empleaban de mayores dimensiones que las restantes, solapando sobre los faldo-

dones (Fig. 242), pero como el borde rectilíneo no une bien con las curvas y contracurvas de las tejas de ambos tendidos, hay necesidad de suplementar con yeso ó con mortero hidráulico.

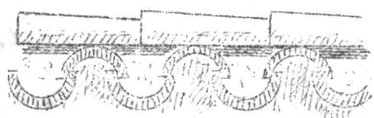


Fig. 242

Lo mas práctico sería emplear tejas especiales con escotaduras para salvar las partes curvas.

En todos los demás tejados es preciso colocar en el caballete piezas de formas adecuadas que especialmente se fabrican para este objeto.

Limas tesas. Intersección de dos tendidos formando un ángulo saliente. En rigor vienen á ser caballetes inclinados, así es que los procedimientos no difieren esencialmente de los empleados para aquellos.

Si el material empleado es la pizarra, se puede, como hemos dicho, volar las de un tendido sobre el otro, teniendo en cuenta las precauciones que ya indicamos respecto á la dirección de los vientos reinantes. Si dicho sistema no conviene se apela al plomo colococándole en toda la longitud de la lima, sujeto con corchetes y clavos de trecho en trecho, soldando sus cabezas. Hay otra solución, que consiste en el empleo de chapas de plomo en lugar de pizarras en la parte ocupada por la lima, sustitución que no se nota por la semejanza de color de ambos materiales. Pero en este caso hay que tener en cuenta que la superficie triangular que se trata de cubrir no se presta á emborolados y solapos, y lo que se hace es combinar los trozos de plomo de modo que resulten algo trapezoidales, para lo cual se desvian las lí-

neas de su verdadera posicion, dirigiéndolas hácia otros puntos. Sea (Fig. 243) ab la línea de la lima, y mn la junta de una de las pizarras ordinarias y que ocupa el tercero ó cuarto lugar á partir de la lima; para determinar las demás juntas se prolonga la línea mn hasta su encuentro en o con la ab, y basta unir este punto con los de division de la línea pq para encontrar las juntas buscadas en la fila que se considera. Lo mismo se hace para la siguiente, teniendo en cuenta que un punto de las juntas queda determinado trazando por el pie de cada una de las halladas paralelas á la lima. Las piezas de plomo se embordan con las del tendido adyacente sin soldadura ni contacto, sino formando una especie de junquillo (Fig. 244)

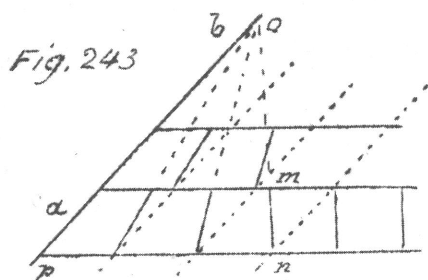


Fig. 243

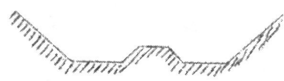

Fig. 244

En el tejado árabe se reciben análogamente las tejas sobre la lima tesa, suplementándolas con yeso para cerrar el espacio que deja el borde rectilíneo con los bordes de los tendidos. En los demás tejados se hace preciso emplear piezas especiales análogas á las del caballete.

Limas hoyas. Intersección de dos tendidos formando ángulo entrante. Exijen otro cuidado á mas de los anteriores, pues es necesario dar la amplitud suficiente para dejar correr el agua que va á recibir. No es buena solucion la de emplear elementos de barro cocido, y debe preferirse el plomo solapado y co-

jido con las pizarras de los faldones. Se prepara primeramente una cama de yeso bien hecha y con regularidad, á veces con retallos ó escalonada para favorecer la marcha de las aguas; cuando la cama está seca y se ha aislado con una substancia conveniente, como, por ejemplo, papel ó tela embreada, se tiende la hoja de plomo, cuyos bordes laterales son cogidos con el solapado de las pizarras, y las planchas se unen con las siguientes inferiores por enlace sin soldadura, y tambien pueden solaparse dejando retallos. Si se crée prudente se clavan, pero dejando libre la parte inferior de la hoja para los efectos de la dilatacion. Con

Fig. 245



objeto de aumentar el hueco útil para el agua, es cosa frecuente establecer dos limas (Fig. 245) que, sin embargo no bastan en muchas ocasiones.

En el tejado árabe, y en los demás, no hay solucion tan ventajosa como la del empleo del plomo; cualquier otro procedimiento que pudiera emplearse no da resultados tan satisfactorios. Una de las ventajas que aquel proporciona es la de evitar reparaciones y arreglos frecuentes, lo que compensa en parte su coste.

Alrededor de los cuerpos de chimenea y de todos los salientes en general siempre debe emplearse el revestido de plomo.

Para cubiertas provisionales se puede emplear el carton piedra, con mucha cola, pintado al óleo y barnizado, pero su duracion en buen estado es muy corta. Lo mismo puede decirse del fieltro y del carton ó tela asfaltados; estos materiales no presentan otra ventaja que la de su poco peso.

CUBIERTAS DE VIDRIO.

Es el vidrio un material impermeable, no absorvente, inalterable y traslúcido, cualidades que hacen muy útil su empleo como elemento de cubierta, toda vez que permite iluminar los espacios por debajo de la armadura.

Se fabrica el vidrio de tres modos: 1.º por insuflación y rotación, formándose un cilindro que se hiende luego por una de sus generatrices y se desarrolla sobre un plano, produciéndose así la lámina; 2.º por el sistema llamado inglés, que consiste en producir por medio también de la caña y de una gran rotación, un disco, que se suelta luego, notándose solo un pequeño aumento de grueso en la parte donde estuvo unido á la caña; y 3.º; consiste este procedimiento en fundir el vidrio en crisoles y verterle sobre una superficie plana.

Los vidrios que se obtienen son de varias clases. Hay, en primer lugar, los vidrios delgados, que tienen próximamente 0.m001, y hasta 0.m0005 de espesor, y no son empleados en la construcción; viene luego el vidrio sencillo, de unos dos milímetros de grueso, que el ordinariamente usado en las vidrieras; están después los semidobles, de 0.m003 y los dobles, de 0.m0035 ó mas. Por último, hay las baldosas de vidrio empleadas para pisos cuando se quiere dar luz á espacios inferiores. También produce la industria moderna

vidrios que llevan en sí mayor resistencia, merced á una tela metálica colocada en el interior de su masa, cuya tela tiene el doble objeto de evitar que se desprendan los trozos del vidrio en caso de rotura, pero no se ha conseguido aún una perfecta regularidad en las mallas del tejido metálico, á lo que es de esperar se llegue con la mejora de los procedimientos mecánicos empleados en la fabricación.

El vidrio se clasifica en el comercio por una numeración especial que resulta de sumar la longitud de los dos lados de la lámina (rectangular ó cuadrada); de este modo, el vidrio de 21, por ejemplo, puede ser de 10 × 11 ó de 12 × 9 pulgadas francesas. El precio de las baldosas y vidrios dobles se fija por el peso y no por las dimensiones.

Respecto de la parte constructiva diremos que si se trata de una cubierta de proporciones reducidas, como tragaluces, etc., para colocar una vidriera se dispone una armadura de madera ó de hierro, lo que es mucho mas conveniente, formando cuadrícula, adoptándose para la seccion diversas formas, segun convenga (Fig. 246) y luego se coloca el vidrio sujetándole en los rebajos con mastic de vidriero, teniendo cuidado de dejar en el hierro pequeños taladros por los que se pasan trozos de alambre que sujetan y agarran el mastic (Fig. 247). Pero esta precaucion no es suficiente, porque la masilla se hace pulverulenta y friable y las aguas la desprenden y arrastran con facilidad; lo mas seguro es

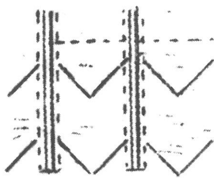

Fig. 246

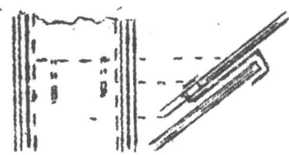

Fig. 247

colocar en ciertos puntos pequeñas tiras de zinc ó plomo que unan el vidrio al hierro, y luego sobre dichas tiras se pone el mastic en la forma corriente (Fig. 248)


Fig. 248

En sentido de la pendiente, cada lámina de vidrio se une con la inferior por solapo de aquella sobre esta, siendo muy conveniente que terminen en ángulo para que escurra mejor el agua (Fig. 249), y si hubiera peligro de que pudiera producirse la separación, se disponen corchetes de zinc colgados del borde superior de cada vidrio (Fig. 250) para sujetar á él el inferior. Algunas veces los vidrieros ponen entre ambas laminas una ligera capa de masilla, pero esto es de muy mal efecto.

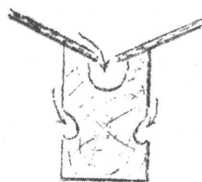

Fig. 249


Fig. 250

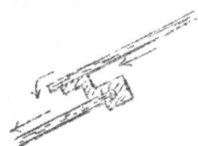
Cuando se trata de cubiertas de mayores dimensiones hay que tener en cuenta la condensación sobre el vidrio del vapor de agua que se produce en el espacio cubierto y que puede desprenderse en gotas escurriendo por la cara interna del vidrio; es preciso prever esto y evitarlo, dejando pequeñas canales de trecho en trecho, provistas de orificios de salida al exterior.

Los medios que para este objeto primeramente se emplearon fueron muy sencillos: en las mismas piezas de apoyo se hacian ranuras para llevar las gotas del vapor condensado; esta misma viene á ser la disposición que generalmente se adopta en las estufas para plantas: en las piezas de madera que

sirven de goteras para recibir las aguas de lluvia se entallan otras goteras laterales á las que van á parar para ser conducidas al exterior las aguas interiores (Fig. 251). Esto exije mucho gasto, tanto en planos de cristal como en la ejecución de las goteras sin contar con que siendo estas de madera se hinchan ó se merman por efecto de la humedad, lo que es causa de muchos perjuicios.


Fig. 251

Mejor sistema es establecer las canales entre cada dos hojas dejando ambos vidrios separados entre si una pequeña distancia por medio de una pieza metálica colgada y provista de agujeros (Fig. 252). Para favorecer su efecto se da al vidrio por la parte inferior la forma curva que es seguida por la canalilla convenientemente asentada sobre mastic. Este procedimiento escije retallos sucesivos con sus correspondientes rebajos en los hierros en cruz.


Fig. 252

No ha terminado aquí el estudio de esta cuestión cuya importancia aumenta el mucho empleo que se hace de las cubiertas de vidrio. El sistema anterior tiene el inconveniente de que la canalilla llega á obstruirse por el polvo y las materias que el agua arrastra; para evitarlo se forman canales hasta en los hierros laterales, y lo que se hace así es renunciar á impedir la entrada del agua, facilitandose, por el contrario, su entrada y disponiendo elementos que la recojan dentro. Los cristales se colocan á pequeña distancia unos de otros y por debajo de cada junta se ponen hierros zorés que ha-

con de canalilla (Fig. 253). Entre el hierro y el vidrio se interpone mastic ó una tira de fieltro asfaltado ó listón de madera blanda, y se sujetan de trecho en trecho con un pequeño muelle de acero y tornillo de presión. Este procedimiento da buen resultado, lo mismo que sus análogos, pero exigen continua vijilancia.



Fig. 253

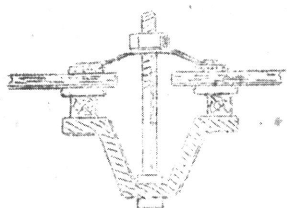


Fig. 254

En los tragaluces se emplea algunas veces el sistema con ligeras pendientes, pero sin exageración (Fig. 254) (Véase la Revista de Ingenieros y Arquitectos de Hannover, en Alemania y las láminas)

AZOTEAS

Se trata ahora de cubiertas que han de servir á la vez de pavimentos, y, por lo tanto, que deben reunir las condiciones de unas y de otros.

Aquí no pueden emplearse los solapos, porque serían resaltos en el piso, y ademas hay que tener en cuenta que el roce producido por el paso de las personas es un elemento de destrucción; de modo que, si las condiciones del clima no favorecen, el problema es irresoluble

Cuando la pendiente es pequeña hay que cuidar mucho la construcción del entramado que va á sostener la azotea, pues cualquier movimiento produciría en ella hiendas, y como consecuencia inmediata

la destrucción. Claro está que el problema se simplifica mucho si se trata de cubrir una bóveda ya descimbrada y perfectamente asentada, pues no habrá en ella movimiento; pero en los entramados es preciso, como ya se ha dicho, que haya el menor movimiento posible y que no se trasmita á la azotea.

Estudiaremos las soluciones dadas á la cuestión en diversas localidades de España.

Primer sistema. En Andalucía, Valencia y Murcia, las azoteas se construyen sobre entramados de hierro ó de madera (caso más desfavorable) con poca pendiente, la misma que siguen los maderos de dicho entramado; tienen los constructores la precaución de que las distancias y escuadrías de las maderas no estén en el límite de resistencia, y aunque aumentando el gasto, dan á la obra mayor rigidez para hacer que las flexiones sean pequeñas. Sobre los maderos va una solería de ladrillo sustituyendo al entablado, que se merma ó se hincha, cuyos ladrillos se apoyan sobre serradizos ó listones colocados á conveniente distancia y clavados normalmente á los maderos, y se colocan desgajando algo (Fig. 255) á fin de que si hubiera algún movimiento no produzca deformaciones.

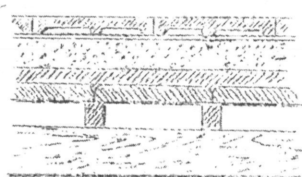


Fig. 255

Esta solería se guarnece con mortero por la parte superior como preparación para recibir el solado que se la sobrepone, y que va á ser el pavimento de la azotea. Para que se establezca más independencia con la parte inferior, se sigue en Andalucía una

práctica, que consiste en echar sobre el mortero una capa de tierra esponjosa que no se apegota y viene á ser un intermedio entre la arena y la arcilla (se conoce con el nombre de alcaxifa) y sobre ella se recibe con mortero hidráulico el solado superior, el cual debe ser de material duro é impermeable, y á ser posible viejo, pues llena mejor su destino, y debe repasarse luego con esmero para que no quede ninguna grieta en las juntas. Todas las capas de que se ha hablado se colocan con una pequeña pendiente.

El sistema descrito es bueno y suele dar resultados satisfactorios, pero debe vigilarse con frecuencia, cada dos años lo mas tarde.

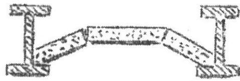
El mortero empleado en la solería inferior no debe fraguar con rapidez para dar lugar á las pequeñas deformaciones que puede haber sin que se causen roturas, movimiento que no se reflejan al exterior porque la capa de tierra se esponja y llena los huecos que se producen. Por el contrario, si penetra algo de agua por el solado de encima la tierra lo absorberá y no la dejará penetrar en el interior. Sin embargo, debe observarse que en las regiones donde mas se emplea este sistema las lluvias no son persistentes.

Segundo sistema. Es el usado en Cataluña, y en él se fia todo á las buenas condiciones del mortero y á la práctica de los operarios en voltear bóvedas tabicadas al aire. Se emplea un entramado de viguetas de hierro, bajo las mismas condiciones que se han indicado en el primer sistema. El cielo raso se hace con rasilla hueca desgajando la arista pa-

ra aprovechar el primer hueco á fin de que se apoye en las aletas inferiores de la I (Fig. 256), ó si se


Fig. 256

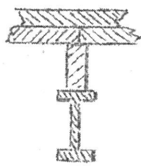
desea mayor seguridad se voltean bovedillas de viga á viga (Fig. 257); de un modo ó de otro siempre queda el hueco superior A, que sirve para aislar C.


Fig. 257.

El pavimento de la azotea no debe ser plano, dentro de las pendientes que ya siguen las vigas y que puede ser, por ejemplo, de uno por ciento: lo que se hace es darle un movimiento ondulatorio


Fig. 258

en sentido transversal á la pendiente (Fig. 258) valiéndose para ello de pequeños tabiquillos colocados sobre las vigas, siendo su altura la necesaria para producir ó ganar el teso (Fig. 259). Por último, las bovedillas superiores se hacen al aire, de dos ó tres espesores, y sobre la última capa se coloca buen baldosín hidráulico. Con esta

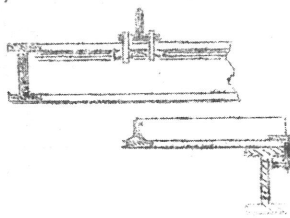

Fig. 259

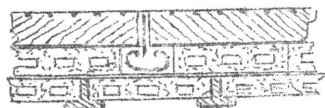
disposición se consigue que si, por efecto de cualquier movimiento, algún tabiquillo se desprendiera un poco, dicho movimiento no se transmitirá al solado, puesto que la bovedilla tiene bastante rigidez para no deformarse.

-Otros ensayos. Se han hecho empleando el cemento con sus ventajas de fraguar rápidamente resistir bien á la humedad, etc.; pero no puede utilizarse en hoja continua porque se agrieta al menor movimiento y dejaría pasar la humedad;

es preciso, pues, disponerle en losas, pero en este caso las juntas perjudican para el efecto deseado.

El siguiente método ha dado buen resultado al parecer: sobre entramado de hierro, que es mas invariable que el de madera, y que desde luego sostiene un cielo raso ejecutado por cualquiera de los procedimientos indicados, se apoyan pequeñas piezas de T, pero sin tornillos ni otro medio de unión que impidan que las dilataciones y contracciones se verifiquen con entera libertad, haciéndose el enlace por medio de una especie de cincho y cuñas, que al apretarse le sujetan (Fig. 260). Sobre las alas de dichas T se apoyan rasillas formando solería, y sobre estas una segunda série á juntas encontradas con las de la primera, y antes de colocar las losas de cemento se establecen unas canalillas de plomo con los bordes levantados, teniendo, como es natural, cuidado de que correspondan á los sitios de las juntas; sobre todo esto va ya el suelo de la azotea, formado de losas de cemento mezclado con arena. (Fig. 261) Estas losas, que á lo sumo tienen dos metros de lado, se separan entre sí por una delgada lámina de plomo ó zinc. Por lo tanto, hay que establecer antes que las losas, la cuadrícula de tiras de zinc, recibiéndose aquellas con cemento; de este modo si penetra algo de agua, será en muy pequeña cantidad y se evaporará en las canalillas. Este


Fig. 260


Fig. 261

sistema exije mucho cuidado en la ejecución.

Hay variantes en el procedimiento, como, por ejemplo, en lugar del segundo lecho de rasilla poner una capa de escoria machacada.

Aun podemos citar otro sistema, algo en desuso, que se reduce á emplear losas de piedra artificial á base de cemento, aligeradas, si se quiere, con casetones interiores, independientes entre sí, llevando en las juntas hierros zetas invertidos, asentados sobre madera (Fig. 262) y colocados á distancias proporcionadas para que su eje corresponda con la junta de las losas; el agua penetra por aquellas y los hierros en la conducen al alero. En las juntas paralelas á este se dispone el canto de las losas con una pequeña canal (dada directamente por el molde) que desagua en los hierros correspondientes á las otras juntas (Fig. 263)



Fig. 262

Fig. 263

Tienen el inconveniente los hierros y las canales de obstruirse al cabo de algún tiempo á causa del polvo, materias arrastradas por el agua, etc.; pero como las losas no van pegadas pueden levantarse para limpiar unas y otros.

En azoteas que tengan poco uso basta que se empleen retallos, losas ligeramente solapadas con pequeño goterón, etc.

II. SOPORTE

Son los segundos elementos esenciales de un edificio y dependen del techo.

1.ª CLASE.- Soportes de techos adintelados.

Aquí, como ya sabemos, las presiones son verticales ó ligeramente inclinadas cuando hay deformación, y en este caso el soporte no es mas que un apeo libre del techo.

Respecto á su planta tendremos en cuenta que siendo, la misión del soporte la de sostener el techo sin que se obstruya el paso, y prescindiendo de otras consideraciones de orden mas elevado que pudieran hacerse, desde luego parece lo mas lógico el empleo de la forma circular. Para determinar el alzado, recordemos que no excediendo la altura de mas de siete veces el diámetro, la pieza trabaja por compresión simple, pero si aquella aumenta puede iniciarse la flexión lateral, y hay que favorecer entonces las condiciones de resistencia, ya por la forma del soporte mismo, ya empotrando sus extremos ó por otros medios cualesquiera. Parece que en rigor el apoyo no debe tener reacción constante, pues las cargas irán aumentando á medida que se consideren secciones mas bajas, pero es difícil indicar

cuanto ha de aumentarse la sección.

Si recurrimos á las construcciones antiguas vemos que la forma que se daba á las columnas venía á ser la tronco-cónica que difiere muy poco de la que da el cálculo. Esta última puede determinarse hallando la carga que soporta cada tambor, que diferirá de uno á otro en el peso de uno de ellos (Fig. 264) y se llega así á un resultado que concuerda perfectamente con la columna griega, en que se obtiene el mismo coeficiente de trabajo en todas las secciones

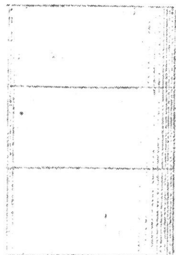


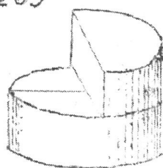
Fig 264

La base, y el capitel en los soportes vienen á ser un medio de empotramiento, especialmente la primera, asentada, por lo general, sobre fundaciones, que se refieren al recinto entero de la construcción.

Vamos á estudiar ahora estos segundos elementos esenciales de los edificios en las diversas épocas.

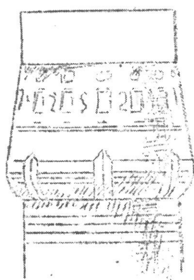
Arte egipcio.— Se hace la columna, con preferencia, de una sola pieza para obtener así la mayor resistencia posible; pero á veces no lo permiten las enormes dimensiones que alcanza el soporte, y entonces se apareja este por tambores horizontales, que deben ser de una pieza única, ó de dos á lo sumo, haciéndose la junta según el diámetro (Fig. 265) y alternadas las de un tambor con la del otro.

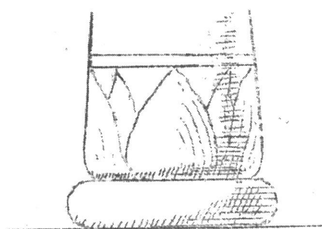
Fig. 265

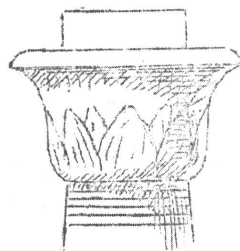


El galbo ó perfil tiene la inclinación conveniente y si en la parte inferior la basa está sólidamente sujeta, se constituye así un verdadero empotramiento.

En la parte superior puede haber mas peligro á movimientos toda vez que no hay elementos invariables y los dos dinteles que descansan en la columna pueden experimentar alguna variación; se puede evitar ésto, ó por lo menos se coloca la construcción en mejores condiciones, estableciendo una tableta ó ábaco intermedio.


Fig. 266


Fig. 267


Fig. 268

Para impedir la facilidad de movimiento se daba á la columna la forma bulbosa (Fig. 266) porque así se tenía un ángulo mayor de 90°, y en las basas se hizo lo mismo (Fig. 267), de suerte que, si por una desigualdad de asiento se producía un giro, no se desportillaban las aristas del primer tambor. A los capiteles se les dió la forma de campaniformes y encima llevaban su correspondiente dado (Fig. 268) para evitar que se produjere el giro alrededor de una arista debil.

Arte griego. La forma adoptada por los griegos para su columnas varía según la longitud de estas y la clase de piedra empleada en su construcción, por lo que es lógico suponer que no proce-

dían empíricamente. Cuando la altura excede de cuatro ó cinco diámetros, la forma tronco-cónica se altera con el galbo que tiende á reforzar el tercio inferior, que es precisamente la región donde serían mayores las ordenadas de deformación ocasionada por la flexión lateral que tiende á producirse en este caso.

Si el soporte es pequeño se hace monolítico ó se despiéza en tambores, haciéndose perfectamente la labra de los lechos y sobrelechos para que la compresión se reparta por igual sobre toda la superficie y no se ejerza solo en algunos puntos de contacto.

En el caso de ser la columna estriada, se hacía esta operación despues de construida aquella, y solo los tambores primero y último se colocaban con las estrías ya hechas y servían de guía para el trazado en los demás tambores. Esto se comprueba en algunos templos que no llegaron á terminarse, y tal sistema era perfectamente lógico porque así se evitaba que se desportillasen las aristas al elevar y asentar los sillares.

Los lechos se formaban del siguiente modo: en primer lugar existe junto á las estrías (Fig. 269) una zona de 23 á 25 centímetros de ancha, perfectamente labrada y apomazada; sigue luego otra, labrada á trinchante solo, sin la finura de la primera, y destinada á recibir el estuco, otra tercera zona labrada á puntero, y por último, una última central, labrada y apomazada como la primera, y pro-

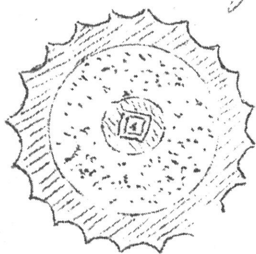


Fig. 269

vista de huecos destinados á recibir los tochos. Es evidente que la carga se trasmitirá por las dos zonas de superficie mas lisa mediante el contacto de la piedra y en las restantes por el estuco intermedio.

Puede ocurrir, aunque no es probable, que el estuco se contraiga, y en este caso la presion solo será trasmitida por las zonas primera y última, que, en prevision de que esto suceda, deben estar calculadas para que por sí solas resistan la carga.

De aquí se deduce una consecuencia muy importante y conforme en un todo á los preceptos de la Teoría del Arte, y es que la columna griega tiene exceso de seccion.

En el centro de la columna existe una caja de ocho centímetros, poco mas ó menos, de profundidad que sirve para recibir el tocho. Se han encontrado algunos de estos y se ha visto que eran de madera, compuestos de tres piezas (Fig. 270) dos de ellas prismáticas, que se unian á los tambores, y una intermedia cilíndrica que permitia el giro, lo que indica que el objeto de estos tochos no era asegurar la estabilidad de la columna, sino facilitar el asiento de unos tambores sobre otros, pues si así no fuera se hubiese empleado otro material mas durable. No falta quien afirme que el verdadero oficio de los tochos era el de servir de pivote para que girando un tambor se otro se pulimentasen por el rozamiento las superficies de contacto.

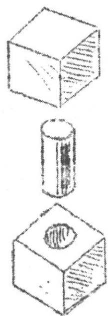


Fig. 270.

Se observa que los lechos no eran perfectamente

horizontales, y sí solo el primero y el último; los restantes estan algo inclinados hácia el interior, y los de las columnas de ángulo hácia la bisectriz interior.

Los ejes de las columnas no son tampoco verticales, estando ligeramente inclinados á favor de la obra (V. las láminas)

No es creible que se pretendiera por estos medios obtener mayor estabilidad, y acaso se emplearan para corregir errores de perspectiva

Sobre el ábaco del capitel descansa el arquitrabe, pero no directamente, sino dejando un pequeñísimo retallo de un milímetro (Fig. 271) con objeto de evitar el desportillamiento de la arista. El último lecho tiene apomarada casi toda su superficie

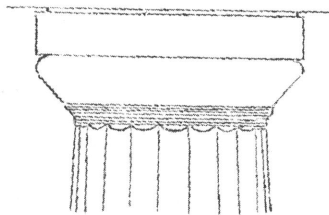


Fig. 271

Cuando el diametro de la columna es relativamente pequeño tiene el tocho una aplicacion distinta de la anteriormente indicada y se han visto tambores en que aquellos son de hierro, y en vez de uno solo se han empleado dos, ó tres ó mas. En este caso el tocho sirve para evitar el deslizamiento de los tambores; se colocaban en el sobrelecho y encajaban con cierta holgura en cajas abiertas en el lecho, emplomándolos despues de asentado el tambor, para lo cual se disponia una pequeña cánula triangular y á la entrada de esta un recipiente ó tacillo de arcilla en la que se vertia el plomo y este se deslizaba por la cánula para rellenar la holgura de la caja La entrada de la

canal se practicaba en el centro de una estría y la mancha que quedaba apenas era perceptible, disimulándose por completo en algunas columnas con un baño general de estuco.

Con estos procedimientos quedaban de tal modo unidos los tambores, que como se ha visto en las ruinas del Templo del Sol, en Palmira, al caer una columna no se han desunido los elementos que la formaban.

Actualmente se colocan los tochos de la misma ma manera con la sola diferencia de que no se emploman por la parte superior.

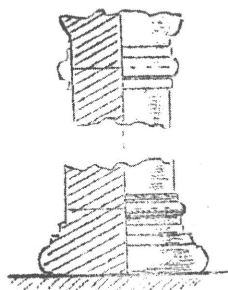
Arte romano. La columna romana no es mas que una copia de la griega, variando solo en algunos detalles, como por ejemplo, la forma de la canalilla, que era semicircular.

Según se ha visto en Pompeya los romanos construían columnas de ladrillo, pero como este material no adapta bien á ese destino, sobre todo si las columnas son estriadas, salvaban las dificultades con piezas especiales de barro cocido, ó raspando los ladrillos; pero estos recursos no pueden admitirse como principio, pues la forma circular es propia de la piedra, y si se quiere emplear otro material lo lógico es variar la forma del soporte, haciéndole cuadrado, rectangular, etc, según convenga (V. las láminas)

Se hicieron también columnas de fábrica mixta, revestidas al exterior con piezas de piedra (V. las láminas)

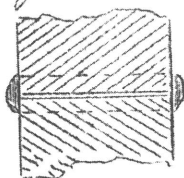
Los romanos solo emplearon la columna como elemento de sustentación de cargas verticales, y aunque en algunas construcciones de aquella época se la ve sosteniendo bóvedas, es solo en apariencia, pues el empuje está contrarrestado por el macho correspondiente y la columna no es mas que una especie de decoración sobrepuesta; en ciertos casos aparece la columna sosteniendo arcos, pero estos son simétricos y solo dan empujes resultantes verticales, como ocurre en las arquerías de las basílicas, en cuyo caso, como en todos los que esto era posible hacían las columnas de una sola pieza; además las cargas eran de poca importancia.

Arte bizantino. También se empleaba la columna para sostener arcos, pero como antes se ha dicho, los empujes están dispuestos de tal modo que dan una resultante que coincide aproximadamente con el eje de aquella. Hay, sin embargo, que tener aquí en cuenta que las cargas son muy considerables, lo que obligó á tomar determinadas precauciones en la construcción de los apoyos. Empezaban los constructores por elegir materiales muy duros, como pórfido, jaspe, etc, haciendo, siempre que podían, la columna de una pieza, ó reduciendo á dos ó tres el número de tambores; como estos resultan entonces de gran altura hay que emplear el material á contralecho, pero como en esta disposición la presión actúa en el sentido de las capas de cantera, que ahora van verticales, se facilita la rotura de aquel en

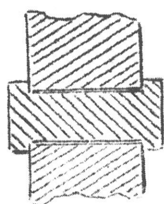

Fig. 272

agujas ó láminas. Se procuró evitar esto reforzando el fuste por medio de dos cinchos metálicos, uno colocado en la base y otro en el vértice (Fig. 272) en lo que tuvieron origen los anillos que en el arte árabe fueron elementos decorativos exagerando ya el principio.

Hay que poner gran cuidado en el asiento de los tambores para que toda la superficie trabaje, y á este objeto se emplearon planchas intermedias de plomo dulce; pero esto tiene el inconveniente de que el plomo tenderá á salir lateralmente merced á la presión misma, lo que puede evitarse haciendo que los cinchos metálicos de que antes se ha hablado correspondan á las juntas (Fig. 273)


Fig. 273

Si no se quisiera poner cinchos pueden colocarse los tambores alternados á lecho y contralecho respectivamente; estos últimos son de diámetro algo mayor que el de los primeros, y en ellos se abren cajas para que entren los tambores contiguos, formandose así verdaderos cinchos de piedra que sustituyen á los metálicos. (Fig. 274)


Fig. 274

Respecto de los capiteles y basas se establecen lo mismo que en los otros artes; solo hay que tener en cuenta que el capitel no vá á recibir dinteles, sino bóvedas, y de aquí que se le diera la forma tronco-cónica para proporcionar el mayor asiento posible á los salmeres.

SOPORTES DE TECHOS ABOVEDADOS.

En el arte románico el apoyo ya no puede ser una columna: en una iglesia, por ejemplo, hay que contrarestar el empuje de las bóvedas bajas, formeros de la principal y muros que se apoyan sobre ellos y que mas arriba van á recibir una bóveda mas; de suerte que hay distintos empujes y á diferentes alturas, lo que coloca el problema en malas condiciones.

En la primera época no aparece bien hecho el analisis de todos estos elementos, y por eso los pilares se construian como columnas ó de sección rectangular, con las aristas robadas. Se comprende desde luego que tanto una forma como la otra exijian un aumento grande de dimensiones, lo que ademas de perjudicar las proporciones de la construcción quitaba diafanidad al espacio que se queria cubrir.

Posteriormente se modifican estos pilares dándoles una sección que estuviese mas en armonía con su objeto y en relación á los elementos que habian de sostener, y se adoptó la forma de cruz, cuyos cuatro brazos sostienen (Fig. 275) un arco fajón, dos formeros de la nave baja y uno fajón de la alta, y aun se modificó esta sección, haciendo desiguales los brazos de la cruz en relación

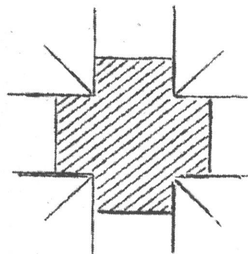
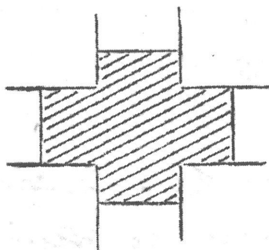
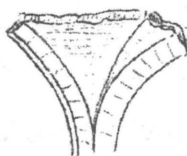


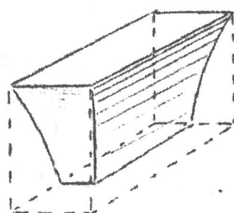
Fig. 275

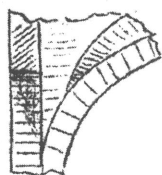
á los dos ejes, y de conformidad con la desigualdad de los empujes correspondientes á cada base de apoyo (Fig. 276)


Fig. 276.

Es evidente que con esta disposición se consiguió algo práctico, pero la cuestión no está resuelta todavía. En efecto, el pilar sigue ocupando gran espacio, y su forma puede no ser conveniente en algunos casos, por ejemplo, cuando se trate de cubrir un espacio con bóveda por arista, pues solo hay un punto de apoyo para esta; puede no ser esto dificultad si se emplea la piedra (Figura 277) porque se hacen los arranques de una sola piera, pero si se usa el ladrillo no hay solución puesto que sería necesario escafilarle como indica la figura 278, quedándole solo un punto de apoyo, lo que no es admisible.

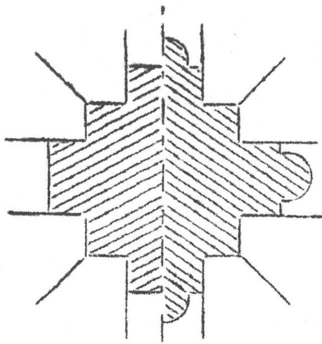

Fig. 277


Fig. 278.



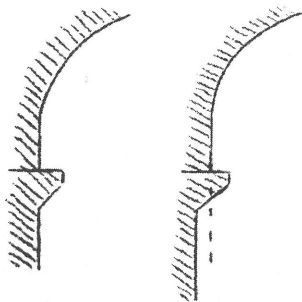
En tal caso lo que se hace es que el arranque de la arista se verifique á mayor altura (Fig. 279) la necesaria para que pueda colocarse un ladrillo entero, y lo mismo se haría si se tratara de sillarejo.

Todo lo que precede no constituye, evidentemente, buenas soluciones; comprendiéndolo así se modificó de nuevo la planta del pilar, y entonces esta presentaba además de los brazos de la cruz otros cuatro retallos mas (Fig. 280) para asentar en ellos las aristas; con esta reforma quedó el apo-


Fig. 280

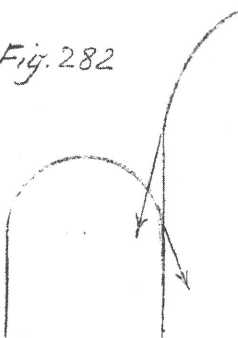
yo en mejores condiciones en cuanto á la materialidad de la construcción, pero no así respecto de la ocupación de espacio, en lo que la nueva forma presenta desventaja.

Los constructores de la época á que nos referimos trataron de resolver la cuestión disminuyendo los retallos adicionados y prescindiendo de la tradición romana que exigía que el fuste y el arranque de la bóveda estuviesen en un mismo plano, de modo que las verdaderas dimensiones del pilar vendrían dadas, no por lo que este ocupa en planta, sino por la proyección horizontal de los ábacos de los capiteles. (Fig. 281)


Fig. 281

Hasta aquí llegan los constructores de la época, no siéndoles posible resolver la cuestión tal como se ha planteado; pero esta cambia de aspecto desde el momento en que se introducen nuevos elementos de contrarresto según vamos á ver.

Supongamos que se trata de una iglesia de naves alta y baja; el empuje de la primera se modificará con el peso del muro que hay desde su arranque hasta la cornisa, y con el peso de las armaduras (Fig. 282); pero no obstante esto, puede suceder que dicho empuje se salga del perfil antes de haber encontrado al de la nave baja,


Fig. 282

y de aquí que en casi todas las iglesias construidas en esta forma hubiese roturas y derrumbamientos entre los arranques de las dos bóvedas. Se evitó esto, por de pronto, haciendo dichos arranques casi á la misma altura, y hasta aumentando los espesores todo lo que era preciso; mas con este sistema las ventanas que daban luz directa á la nave alta resultaban muy pequeñas.

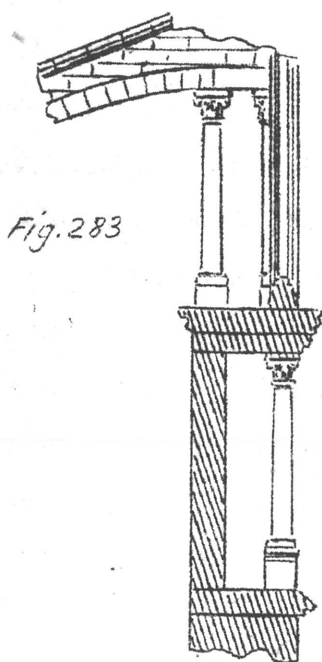
El único modo de resolver el problema es modificar el empuje de manera que se aproxime á la verticalidad, lo que puede conseguirse por medio de aletas, y aún de tribunas, colocadas sobre los fajones de las naves bajas; pero hay que observar que esto puede tener graves inconvenientes por aumentar el peso de dichas aletas el empuje de las naves bajas.

Para llegar á la verticalidad del empuje hay una solución definitiva, que estriba en la introducción del arbotante, y teniendo ya una presión vertical solo habrá que dar al pilar la sección necesaria para obtener un coeficiente de trabajo admisible.

Si observamos lo que sucede por encima del pilar veremos que la piedra que recibe el arbotante debe estar bien cargada para evitar movimientos que puede haber en aquel. Por debajo del arbotante tenemos una carga relativamente pequeña, gracias á la intervención de este, pero si disminuimos la sección del muro en relación á la reducción de carga, nos exponemos á que la resultante, que no es vertical, se sal-

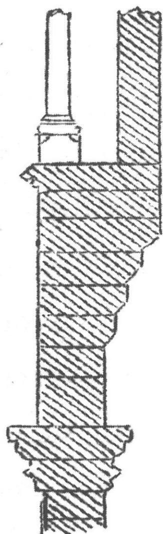
ga del perfil. En resumen, se necesita poca sección resistente, pero gran espacio para alojar la curva de presiones, armonizándose ambas cosas en principio con la misma solución que se indicó al tratar de las bóvedas del Renacimiento, ó sea mediante el desdoblamiento del apoyo en dos hojas, aprovechándose aquí el espacio intermedio para galerías, muy útiles para limpieza de los ventanales.

La hoja interior queda formada con el ventanal y la exterior con columnas que apean el arbotante. Ahora bién, la nave baja puede estar cubierta con armadura á dos aguas ó á una sola vertiente; en el caso primero no se presenta ningún problema nuevo y se sigue el ventanal hasta abajo; pero en el segundo la cuestión varía pues se necesita por la parte exterior un apoyo corrido para que inteste la armadura, y para ello se dispone desde la armadura hacia abajo una segunda galería, formándose el suelo que separa esta de la primera, por medio de dinteles (Fig. 283) Estas galerías son las que se designan con los nombres de trifolia ó trifolium.


Fig. 283

Debajo del trifolio vienen las enjutas de los arcos formeros, y lo natural sería hacer uno de estos con el espesor de la fábrica que hay encima, pero entonces habría necesidad de un apoyo grande, lo que, como es sabido ofrece muchas dificultades. Si

el arco se hace mas delgado el trifolio vendrá á cargar sobre el trasdós de la bóveda, y el modo de conciliarlo todo consiste en establecer una série de piedras (Fig. 284) formando voladizos, y si preciso fuera se construyen arcos de apoyo ó apoyos (V. las láminas)


Fig. 284

Con esta disposición queda completamente resuelto el problema de reducir la planta del pilar al que se le da una sección formada por la compenetración de los nervios de la bóveda prolongados.

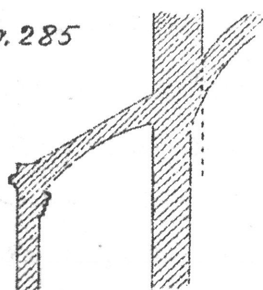
Desde luego se comprende que esta sección no es mas que la conveniente dadas las condiciones mecánicas del pilar, que exigen que el centro de presiones caiga dentro del núcleo central. El no satisfacer á estas condiciones ha dado lugar á deformaciones tan notables como las que se han presentado en la Catedral de Avila &. donde ha sido preciso voltear de un pilar á otro arcos de poquísima flecha que vienen á hacer el oficio de codales.

Si nos fijamos especialmente en un pilar de un crucero, vemos que está en peores condiciones que los restantes, pues recibe empujes distintos y á diferentes alturas y que no pueden tener allí contrarresto alguno. Se resuelve el problema determinando los empujes y observando donde va a pasar la resultante con relación á la sección del pilar, la que se modifica si es preciso. Además, se puede variar la resultante final por medio de pináculos

culos y otros elementos que modifiquen los empujes parciales.

Esta cuestión se presta á una serie de problemas, como variar el punto de aplicación del empuje de la bóveda dando mas ó menos voladizo al arranque, y aún se hizo mas que esto en la Edad Media, época en que se estudió perfectamente la cuestión y hasta se cargó sobre la bóveda (Fig. 285) Realmente causa admiración lo reducido de la sección que llegó entonces á darse á los pilares para considerables alturas, lo cual es resultado de lo bien que de esta cuestión se compenetraron aquellos constructores.

Fig. 285



III. PAREDES.

La pared, tercer elemento fundamental de todo edificio, desempeña una doble misión, pues á la vez que sirve de soporte ó apeo respecto al techo, sirve tambien para limitar el espacio.

Aparte de la clasificación que pudiera hacerse de las paredes por la clase de material de que estén formadas las podemos clasificar desde luego con relación á su destino.

Tenemos una primera división con solo obser-

var que hay paredes que forman parte de la estructura, y otras que, por el contrario, que estan separadas de la construcción; entre las primeras tenemos las fachadas y las traviesas; estas que, como aquellas sirven para sostener suelos ó armaduras, vienen á la vez á establecer las principales líneas de la distribución que luego se completa con los tabiques sobre los cuales no gravita carga alguna.

Las paredes de fachada reciben, según su forma, nombres especiales, como por ejemplo, el de paredes apiñonadas cuando terminan en forma angular para recibir la cubierta; hastiales en el mismo caso, pero siendo de mayor importancia y no recibiendo divisiones de pisos.

Si el edificio no está aislado hay las paredes medianeras ó medianiles que le separan de los contiguos. Las medianerías son bienes pro indiviso, toda vez que se construyen á medias entre los dos propietarios colindantes; pero puede ocurrir también que cada uno de estos construya la suya, y entonces se llaman paredes contiguas, aunque en la práctica se conocen con la denominación general de medianeras. En este último caso solo son medianeras el cimiento y la planta baja.

Entre las paredes que no tienen relación con la estructura del edificio estan: las paredes de cerca, para limitar un espacio, jardín, etc.; los muros de sostenimiento para contener el empuje de tierras, teniendo su coronación al nivel de estas ó algo mas elevado; los de revestimiento cuando la coronación queda mas baja; los de contención de masas de

agua; y finalmente las presas de embalse, que son muros de contención de grandes dimensiones, como los que las que se hacen en los ríos con objeto de aprovechar el agua para usos industriales.

Hemos de advertir que las denominaciones de pared y muro no son indiferentes; la palabra muro indica la idea de haberse empleado en él el material piedra, natural ó artificial, y la palabra pared tiene una acepción mas general en cuanto á los materiales de que puede construirse, por ejemplo, listones revestidos con yeso, etc.

La primera cuestión que se presenta es estudiar cual ha de ser la forma de la pared; veamos de resolverla respecto de aquellas que forman parte de la construcción y que son las que mas interesan.

Si se trata de una pared de traviesa es evidente que, por lo menos en el caso general, estará igualmente cargada con suelos, bóvedas, armaduras, etc. La cuestión de la forma se resuelve entonces facilmente, pues la resultante es vertical ó se desviará poco de esta posición, al mismo tiempo que casi coincidirá con el eje de la pared y por lo tanto solo deberemos preocuparnos de dar á esta la sección debida para la resistencia que tiene que ofrecer.

En una pared de fachada el problema ya varía pues no hay simetría de empujes que solo existen por la parte interior, y debe ser tal la forma que se adopte que el punto de paso de la resultante no salga de la región conveniente.

Si suponemos que á la altura de cada piso hay una bóveda, esta pared exterior no será mas

que un contrafuerte continuo, y habrá de satisfacer á las condiciones que estos requieren respecto de la forma retallos, vierte-aguas, etc. Otro caso mas frecuente es el de suelos entramados, de madera ó de hierro; entonces la pared tiene que resistir su propio peso y el de las vigas de suelo, que suponen una carga igual á la mitad que corresponde al ancho de la crujía; esto es admitiendo que dichas vigas se coloquen simplemente apoyadas, pues si hay empotramiento habrá que añadir un par de fuerzas que da lugar á una contrapresión ó reacción mayor sobre el muro, y por tanto la determinación de la sección será distinta.

Cuando hay empotramiento debe hacerse el siguiente tanteo: descompongamos la resultante R' (Fig. 286) del peso de la pared en dos, una igual y contraria á la ascendente del par PP, y en la P_1, que combinada con la descendente del mismo par nos dará una resultante final R que marcará el centro de presión correspondiente, y así veremos si la forma adoptada para la sección de la pared es la conveniente.

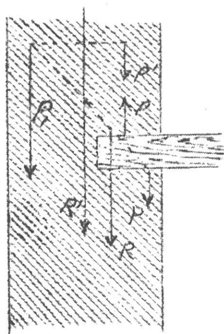
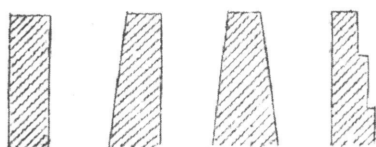


Fig. 286

De la misma manera podemos comparar, en igualdad de condiciones, los resultados obtenidos con las distintas formas que á la pared pueden darse, y que son (Fig. 287)
(a) paramentos verticales; (b) talud al exterior; (c) talud exterior é interior; (d) con retallos.


Fig. 287.

Si hay armaduras y tirantes en la parte superior, se admite, generalmente, que estas piezas solo están apoyadas.

Entre las diversas formas que pueden darse á las paredes, la que ofrece mas ventajas es la de talud ó retallado al interior, pues alejándose el centro de presiones del paramento interno se evita la formación de bombeos en el zócalo y en el piso bajo, como suele suceder si dicho paramento es vertical. Puede empezarse la pared con un espesor de 0m84 y acabar con 0m42, retallando medio pie por piso, ó también empezar con un grueso de dos pies y terminar con la mitad haciendo iguales retallos.

El retallar al exterior no solo es contraproducente, sino que da mal aspecto á la construcción; lo que generalmente se hace en la práctica es dejar un ligerísimo talud de unos dos centímetros ($\frac{1}{16}$ de pie) por piso á favor de obra con objeto de que las fábricas no queden colgadas.

Vamos á ocuparnos ya de la construcción de la pared.

1º Pared de cimiento. El cimiento es la parte de fábrica situada por debajo del solado del sótano, y trasmite al terreno firme la carga total del edificio.

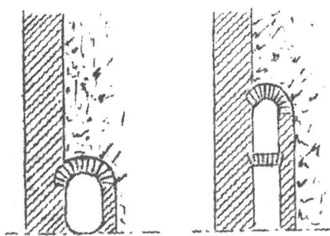
De esta definición se deduce que sus condiciones son: componerse de materiales resistentes para la carga que vá á soportar, y que esos materiales no se descompongan fácilmente. De aquí

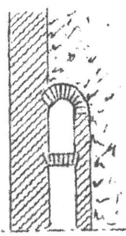
que se empléen para tal objeto el pedernal, el ladrillo santo, las calizas duras, etc.

El cimiento es siempre preciso, pues aun ofreciendo el terreno suficiente resistencia, no debe asentarse la fábrica directamente sobre él, pues pudiéra suceder que se agrietara ó descompusiera por efecto de las heladas. Es así mismo necesario el cimiento por otras causas, como cambios en las rasantes, etc.

2º Pared de sótanos. Se asienta sobre el cimiento y trasmite á este la carga de la parte superior de la construcción; sirve, además, de cerramiento y para sostener el techo del mismo sótano. Por sus condiciones de emplazamiento han de emplearse en ella materiales que no dejen paso á la humedad, cosa que hay que tener muy en cuenta, y el mejor medio de evitar aquella es procurar que las aguas no se reunan junto á la pared; veamos como puede conseguirse esto.

Lo mas sencillo sería revestir el muro de sótano de materiales impermeables, pero esto, en rigor, solo disminuye los efectos de la humedad, pero no constituye una solución definitiva, sobre todo si se añade que resulta caro este procedimiento, pues los materiales que habrian de emplearse serían el cemento ó el asfalto. Lo mejor es hacer atarjeas bufas, (llamadas así porque de trecho en trecho van provistas de huecos para que entre el agua) (Fig. 288) ó galerías de saneamientos (Fig. 289).


Fig. 288


Fig. 289

La humedad puede tambien presentarse por absorción de las fábricas; para evitarlo se emplean capas ó tendeles que aislan, construidos, por ejemplo, de asfalto, de losas de vidrio, de ladrillos esmaltados, de pizarra, y hasta de chapa de plomo. Son tambien aplicables aquí los muros con hueco en su espesor.

3º Pared de fachada. El grueso de la pared no depende solo de las condiciones de resistencia á que debe obedecer, sino también de otras causas que vamos á examinar.

(a) Posibilidad de la ejecución con un material determinado. Es necesario, en efecto, dar límites para los espesores de las fábricas en relación con el material empleado, que debe quedar con el debido enlace; es pues importante conocer dichos límites.

Con el ladrillo no pueden construirse muros paredes que tengan de espesor menos de la mitad de un ladrillo, ó sea medio pie, á no ser que se moldearan piezas especiales de dimensiones distintas de las ordinarias. Los aumentos de espesor serán múltiplos de medio pié. Solo hay una excepción, y es en el caso de que se trate de paredes entramadas, pues cabe entonces colocar el ladrillo de canto, lo que da ¼ de pie de espesor; la pared así construida se llama chapada.

En la fábrica de sillería no podrá bajar el grueso de 0m30 á 0m40, como exije la labra, colocación de sillares, asientos, etc. Si la cantera da piezas de buenas condiciones se podrá reducir el espesor, en algunos casos, hasta 0m20, pero es preciso mucho cuidado y esmero en la mano de obra.

Tratándose de mampostería con lechos casi paralelos se puede tener como mínimo un espesor de 0.m40, pero si los mampuestos son irregulares no debe bajarse de 0.m50 á 0.m60. Claro es que estos números no son fijos, pues evidentemente en ellos influye la calidad del mortero empleado; con cemento pueden disminuirse algo los espesores.

En las paredes de hormigón ya sabemos que la resistencia le da un perfecto enlace, y este no se consigue con un espesor menor de 0.m15 á 0.m20. Empleando la tela metálica embebida puede también reducirse algo el espesor.

En los apisonados de cemento y arena puede emplearse un espesor de 0.m20 como mínimo si la ejecución es buena.

En las paredes de tierra no debe bajar el grueso de 0.m42, mezclando arena y cal se puede descender hasta 0.m22, pero esto no es lo general.

En la resistencia de las paredes influye mucho la manera de ejecutarlas: si el operario tiene habilidad y práctica para construir paredes delgadas sin perder los aplomos cabe mayor limitación en los espesores., y en resumen: podemos establecer que, á igualdad de condiciones y tomando como unidad la fábrica de ladrillo, si esta necesita un espesor de 1, la de sillería labrada exije de $\frac{5}{8}$ á $\frac{3}{4}$, la de sillarejo 1, la de hormigon 1, la mampostería de lecho $1\frac{1}{4}$, la mampostería de pieras irregulares $1\frac{1}{2}$, el tapial 2, y la pared de arena gruesa con cal $1\frac{1}{4}$.

(b) Influencia de la humedad y conservación del calórico interior.

Para ponerse á cubierto de las influencias exteriores, de la humedad, por ejemplo, no conviene pared muy delgada; un ladrillo de espesor no bastaría, pues la junta no se interrumpe y pasará el agua con facilidad; es preciso, pues, interrumpir las juntas. Respecto del calórico hay que plantear el problema en esta forma: ¿qué será mas económico, la colocación de caloríferos ó el aumento de espesor en los muros? La solución dependerá de las circunstancias y de los lugares, pues en la localidad en que los materiales y el solar sean caros conviene mas establecer caloríferos; pero en el campo, por ejemplo donde ambas cosas son baratas deben emplearse espesores mayores.

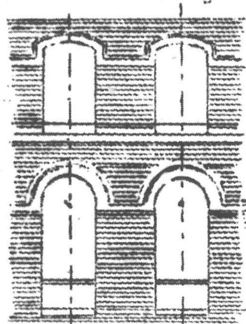
(c) Influencia de la cornisa y cubierta que debe emplearse.

Es necesario que la corona del muro presente espacio suficiente para la colocación de la cornisa y armadura; de suerte que habrá de tenerse en cuenta cuales han sido las dimensiones y el sistema adoptados para aquellas partes del edificio. De este modo solo en casos excepcionales podrá llegarse á espesores menores de pié y medio.

(d). Influencias relativas á la resistencia.

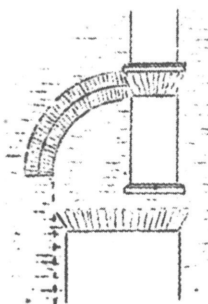
La pared necesita tener una sección proporcional á la carga que ha de soportar; así es que debe hacerse un pequeño cálculo., asignando á

la fábrica, si es de ladrillo, un coeficiente de trabajo de 6 á 8 Kgs. por cm.², llegando á 12 si el ladrillo es fino, pero teniendo siempre en cuenta que este coeficiente es el de la fábrica y no el del material, lo que no es lo mismo; en la sillería puede llegarse á 25 Kgs. El cálculo se hará en la planta y en el macho de menos frente y mas cargado, teniendo presente que esa carga esta dada por los que se llaman tramos de carga, que son los comprendidos entre los planos verticales que pasan por los ejes de los huecos contiguos (Fig. 290) alcanzando por el interior hasta el centro de la crujía.


Fig. 290

Despues de haber fijado así la seccion se comprueba esta incluyendo las cargas accidentales para ver el coeficiente que resulta, y si no es aceptable se cambia el material por otro mas resistente ó se aumenta la seccion. Este cálculo debe hacerse sobre todo cuando hay puertas cocheras, pues los machos son mas delgados y junto á las medianerias si hay puertas ú otros huecos.

Algunas veces las exigencias de la obra obligan á descentrar los huecos; entonces el tramo de carga varia y hay que tener en cuenta la carga desigual que reciben los arcos de los huecos; esto se evita construyendo arcos de descarga ó desviando la carga por medio de arbotantes (Fig. 291) embebidos en la fábrica, cuidando de que tanto estos como aquellos queden convenientemente dispuestos para que cumplan su objeto.


Fig. 291

(e) Influencia relativa á la estabilidad.

La pared debe tener, además de resistencia, la estabilidad necesaria contra los empujes oblicuos producidos por deformaciones de vigas, asientos desiguales y otras causas que tienden á producir desviaciones y giros. Esto hace que muchas veces se den á las paredes espesores mayores que los necesarios para la resistencia, sobre todo cuando hay entre ellas poco enlace; este se puede establecer por medio de engatillados á la altura de los diferentes pisos, ligando la pared de fachada con las de traviesa por otras normales á ellas, también de fábrica, que vienen á ser como contrafuertes, constituyéndose así un engatillado encajonado (Fig. 292) Además, si dichas paredes tuvieran espesor suficiente sirven para subidas de humos, etc., evitando los tambores que son necesarios cuando se adosan las chimeneas á los tabiques

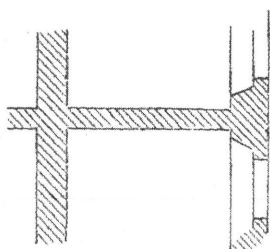


Fig. 292

(f) Influencias relativas á la duración del edificio.

Si la duración ha de ser mucha, claro está que los espesores habrán de ser mayores que los que exije una construcción provisional; por consiguiente, las condiciones á que debe satisfacer el edificio son las que fijan el alcance de tales exigencias.

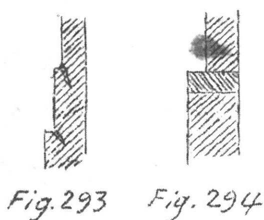
Finalmente, las ordenanzas municipales imponen condiciones de dimensiones, fijándolas entre determinados límites máximo y mínimo en cuanto al espesor.

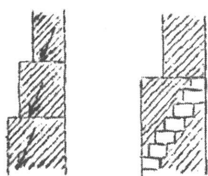
Claro es que todas las condiciones no pueden

quedar siempre satisfechas, y debe cumplirse con las mas necesarias sacrificando las restantes.

La disposición de la pared de fachada ya hemos dicho cual es: retallos y talud; la forma de retallos ofrece la ventaja de recibir las soleras ó careras de suelo, etc, que contribuyen á repartir la carga mas uniformemente en cada muro.

Sin embargo, el retallado ofrece algunos inconvenientes, por ejemplo, en el caso de una torre elevada, en la que, ya se haga aquel al interior ó al exterior, tanto por el peso de la fábrica como por las cargas de suelo puede agrietarse el muro por el retallo (Fig. 293), lo que puede evitarse poniendo un sillar pasante (Fig. 294), ó dos ó tres bien unidos y engrapados. Tambien puede seguirse el procedimiento empleado en la Edad Media, que consiste en trasladar los empujes á los puntos mas descargados por elementos que hacian el oficio de tornapuntas; pero para no introducir en la fábrica elementos estraños se sustituyeron por sillarejos puestos en esa misma direccion y bien labrados para que formasen una línea rígida. (Fig. 295)


Fig. 293 Fig. 294


Fig. 295

4.º Pared de traviesa.

Por corresponder esta pared á dos crujías, la carga que sobre ella actúa es doble y simétrica; por lo tanto los retallos simétricos resuelven el problema. Al

construir esta clase de paredes no deben olvidarse las subidas de humos, bajadas de agua, etc.

5º Paredes hastiales. Cuando se trata de un edificio dividido en pisos las paredes apiñonadas no ofrecen dificultad alguna y quedan en perfectas condiciones de enlace con el resto del edificio.

El caso mas complicado es el de las paredes hastiales. Por poco peralte que tenga la armadura, el tímpano ó piñón triangular es pared de gran altura con relación á la base, ejerciendo sobre él su acción el viento en malas condiciones de estabilidad, pues no puede recibir auxilio alguno de la armadura, y el tímpano á su vez reparte en su base la carga desigualmente, aunque con simetría, resultando el centro muy cargado y aligerados los extremos, circunstancia muy desfavorable, por lo que, al construir, debe cuidarse en primer término de repartir la carga mas uniformemente con huecos y arbotantes embebidos y hasta cargando los extremos con pináculos (Fig. 296) y algunas veces con otros elementos decorativos, como aletas, etc. Aún pueden sujetarse mas estas paredes desde el interior construyendo ámbitos ó trifolios, cuyos dinteles hacen el oficio de gatillos.

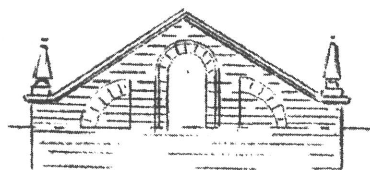


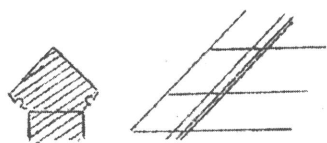
Fig. 296

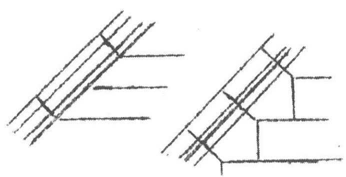
Hay tambien en el hastial tendencia á caer hácia afuera, la que se evita en parte con el sillarejo de que está construido la cara interna, mientras que en la exterior vá la piedra ó sillería la-

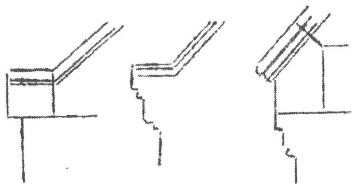
brada para cornisas, impostas, columnas y demas elementos decorativos, pues con el mayor asiento de la hoja interior hay un giro en sentido contrario, al que contribuyen algo las subidas de humos, etc.

El hastial debe terminar en su parte superior relacionándose con la cubierta, pero esta no debe pasar sobre aquel para evitar que la acción del viento se ejerza sobre el borde volado que de este modo quedaría; por el contrario, el frontón ha de pasar ó elevarse sobre la cubierta protegiéndola, y recibiendo una albardilla á dos aguas para preservar su fábrica

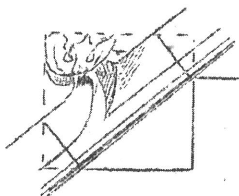
Debe despiezarse el fronton por hiladas horizontales que es el medio mas eficaz para impedir que el agua penetre en el interior, y tambien se hace mejor el asiento, no siendo obstáculo de importancia el angulo agudo que se forma (Fig. 297) puesto que, generalmente, los frontones tienen mucha elevación. Algunas veces se trazan lechos ó juntas normales á la pendiente en el extremo de cada hilada (Fig. 298), asentando muy bien la primera piedra, ó sea la de la base, para impedir el deslizamiento de las demas; pero este sistema es poco usado. La cornisa corre horizontalmente en los muros, perfilándose en el frontón é intestando en la primera piedra (Fig. 299)


Fig. 297

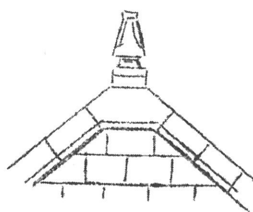

Fig. 298


Fig. 299

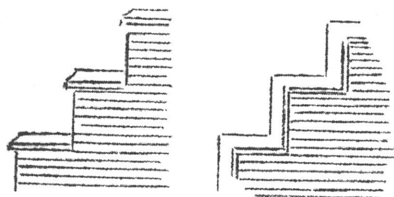
En la albardilla se aprovecha para labrar los frondarios la piedra de que sacan aquella los constructores (Fig. 300) Cuando dichos adornos adquieren importancia se labran aparte y se unen á la albardilla por ramuras y lengüetas y demás medios auxiliares.


Fig. 300

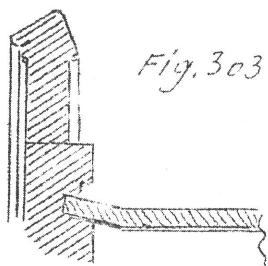
La última piedra, la del ápice, deber tener gran tamaño, pues del peso que tenga depende su estabilidad, á la que contribuyen los pináculos ó florones con que termina (Fig. 301)


Fig. 301

Algunas veces se construyen los frontones escalonados en vez de rampantes, con vierte-aguas, y en las verticales un gablete ó vierte aguas de un solo plano (Figura 302) (V. las láminas)


Fig. 302

Veamos como se adosa la cubierta al hastial: se deja, por ejemplo, una moldura saliente, provista de vierte-aguas y goterón, y además se inclinan en sentido contrario los materiales de la cubierta en esa parte (Fig. 303) para que las aguas no ganen la altura de la junta.


Fig. 303

Para la limpieza y reparaciones se dejan escaleras que suben desde el alero hasta el caballete, y estan formadas por peldaños volados sobre el paramento inte-

rior del fronton, que llevan, si es preciso, su vierte-aguas correspondiente; dichas escaleras sirven á la vez para proteger la union de la cubierta con la fábrica.

6º Muros de sostenimiento.

No tienen relacion con la estructura del edificio, pero son de gran importancia y útiles muchas veces al Arquitecto.

Entre los distintos perfiles que se pueden adoptar, tenemos: paramentos verticales, talud exterior é interior, con machos, con superficies curvas de generatrices horizontales, etc. Siendo de poca longitud generalmente los muros que emplea el Arquitecto, no debe atender tanto á la economía como el Ingeniero; debe solo escojer el tipo mas apropiado para la decoracion y armonía de proporciones. El mas comunmente adoptado es el de contrafuertes, situando con preferencia estos al exterior, por el buen aspecto que presentan al dividir la superficie, y ser mas decorativos poniendo arcos de contrafuerte ó contrafuerte.

Respecto al establecimiento y construccion de estos muros, diremos que su cimentacion y fundacion debe ser perfecta para evitar el resbalamiento, lo que se consigue haciendo que la fábrica penetre algo en terreno firme para que quede como empotrada

Es indispensable que el asiento sea nulo, ó lo mas uniforme posible, pues de no ser así se producen quiebras por las que penetra la hume-

dades del terreno; es mas, las aguas se depositarán junto al paramento interior, y es indispensable darles salida, lo que se consigue con contimploras ó barbacanas, especie de aspilleras que atraviesan la fábrica y van acompañadas de un macizo de piedra en seco (Fig. 304) Otro medio es el emplear un sistema de avenamiento que conduzca las aguas por abajo al exterior. Si se establecen retallos es preciso cubrirlos con losas de piedra para desviar las aguas (V. las láminas)

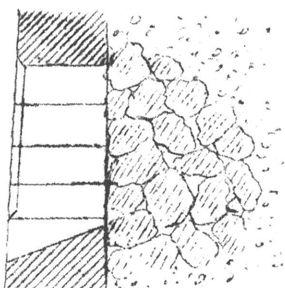


Fig. 304

7º Muros de contención.

Es necesario en esta clase de obras tomar precauciones para que el agua en contacto constante con el muro no produzca alteraciones en la fábrica. La proporción mas generalmente adoptada para la estabilidad es dar á la base un ancho igual á la mitad de la altura del muro y con talud al exterior, lo que economiza mucho material. Hay que atender mucho á la fundación, haciendo el cimiento impermeable y uniendo perfectamente el solado con el muro; por mas que se reciba con mucho esmero esta junta de union, siempre da lugar á filtraciones, y para evitarlas debe correrse el solado por debajo del muro y redondear luego las aristas entrantes con cemento.

De las presas de embalse nada nuevo hay que decir; son un caso particular de los muros de contención, pero de dimensiones extraordina-

rias. Aunque es circunstancia favorable á su colocación el estar siempre emplazadas en el fondo de un valle ú hondonada, hay que determinar bien su estabilidad y perfecto cerramiento, cosa difícil de conseguir; lo mejor es dejar paso á las filtraciones y recibirlas en pozo que tienen comunicación al exterior para dar salida á las aguas y que vuelvan al cauce.

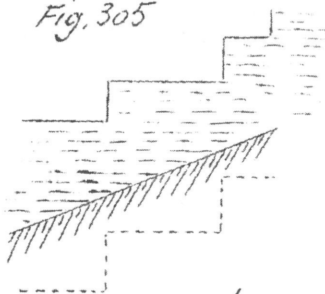
8.º Paredes de cerca ó cerramiento.

Su objeto es limitar espacios y no tienen mas carga que la de su propio peso; la acción del viento no es de gran importancia si, como sucede en la generalidad de los casos, no alcanza gran altura la pared ni es mucha su longitud

La forma y condiciones de estas paredes se deducen de su destino y no hay razón para que se empleen formas particulares, pero sí deberá ser su seccion simétrica, rectangular ó retallada á ambos lados, etc.

Si la pared se construye en un suelo inclinado, es decir, que aquella esté en pendiente en el sentido de su longitud hay que banquear el terreno de asiento, y, por consiguiente tambien el alzado de la pared (Fig. 305); además, las ordenanzas municipales fijan un límite á la altura de las cercas, y así no será por ningún concepto conveniente hacer la coronación horizontal, pues si la altura es la precisa en el punto mas elevado del

Fig. 305



terreno, resultaria excesiva en el mas bajo, ó viceversa.

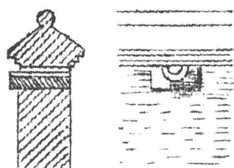
En los banqueos hay que cuidar de que los diferentes peldaños se apoyen en terreno firme, y si las capas del suelo de fundación estan inclinadas hay que prevenir el deslizamiento.

Para preservar el muro de las aguas y rozamientos se le asienta sobre un zócalo de material duro y resistente, empleando para este objeto la sillería si es posible, ó en su defecto, ladrillo bien cocido, sillarejo, etc.

Si la pared es de mucha longitud, para economizar el material sin faltar á las condiciones de resistencia y estabilidad, se reparte la fábrica en machos y entrepaños. Los primeros han de tener las dimensiones horizontales que exija considerado como elementos aislados; los entrepaños, por su poca longitud, serán mas ligeros y de menor espesor que si la pared hubiera de ser continua.

Por la parte superior se termina la pared con albardilla á una ó dos aguas, con vierte-aguas y goterón; estas albardillas pueden ser:

1º De piedra natural si el material empleado en el muro es de importancia; como aquí las piezas no estan cargadas pueden emplearse de mucha longitud, disminuyendo de este modo el número de juntas, que siempre favorecen el ingreso del agua. Debajo de cada junta puede colocarse una pieza en canal con una pequeña gárgola (Fig. 306), per-


Fig. 306

feccionando así el sistema.

2.º De barro cocido, como la teja, del modelo árabe, por ejemplo, teniendo cuidado de que queden algo voladas para separar el goteo de la fábrica, construyendo, si es preciso para sostenerlas mas pequeñas cornisas (Fig. 307) Se emplea tambien baldosa ó baldosín haciéndose las juntas con mucho esmero para que cierren perfectamente. Por último, puede hacerse uso de piezas especiales que para este objeto se fabrican.

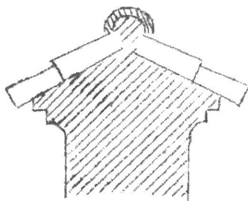
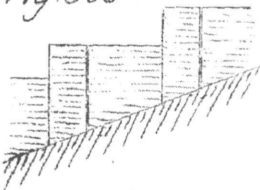


Fig. 307

3.º Las paredes de cerca se cubren tambien con chapa metálica en grandes fajas, perfectamente embordadas y sujetas, pues están expuestas á la acción del viento por ambos lados. Igualmente se emplea el plomo y el zinc, pero estos materiales, como siempre tienen un valor, ofrecen el peligro de ser robados, cosa que frecuentemente ocurre.

Fig. 308



Como última observación diremos que cuando para construir las paredes de que se trata sea necesario banquear, los machos deben corresponder á los puntos de ángulo en la coronación (Fig. 308)

DETALLES INHERENTES Á LA ESTRUCTURA DE LA PARED

A. — Molduras

Tienen un fin constructivo á mas del decorativo, y sirven: para dar base á la construcción aislándola del terreno, para dividir el paramento y para decorarle; de aquí tres clases de molduras: zócalos, cornisas é impostas.

Zócalos — El zócalo debe existir siempre, pues por su posición inmediata á la rasante protege la parte mas espuesta á choques, salpicaduras, etc., y debe estar formado por materiales duros é impermeables, empleándose, á ser posible, la sillería atizonada. Si el zócalo adquiere importancia necesita protecciones á su vez, y de aquí el origen del plinto.

Cuando las piedras no puedan ser pasantes y se empleé el chapado, hay que tener la precaución de no hacerle hasta que la construcción haya asentado, como se recomendó al hablar de las fábricas mixtas; las losas que forman el chapado se sujetan con gatillos, grapas, etc.

El despiezo se hace como siempre, pero cuidando de que las juntas de lecho coincidan con sitios que no rompan la moldura; por lo tanto debe hacerse primeramente un esbozo de la distribución de hiladas, y luego perfilar sujetándose a ellas.

Impostas — Son fajas horizontales que dividen el muro á diversas alturas, correspondiendo, por ejemplo, á las separaciones de pisos, al arranque de bóvedas, etc.

Sirven además para que se deslizan por el paramento se separen de él y caigan al exterior; de

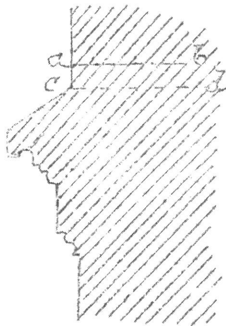


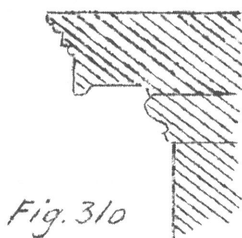
Fig. 309

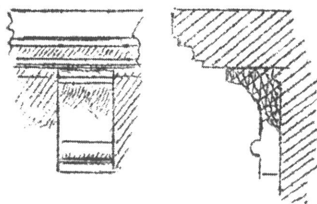
aquí la necesidad del vierte-aguas y del goterón. Las piedras deben ser de la mayor longitud posible, y debe dejarse la junta en ab y no en cd (Fig. 309) para impedir la entrada del agua. Si las impostas son atizonadas hacen el oficio de cadenas horizontales y de llaves, pero si no van en dicha forma el asiento de la fábrica interior hace que la imposta tienda á ser despedida al exterior, lo que debe preverse.

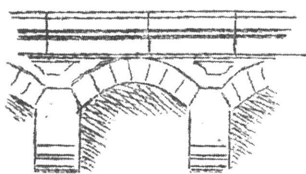
Cornisas. Llenan varios objetos: terminar ó coronar la pared, sirviéndole de cubierta; sostener la lima ó canal que recoje las aguas del tejado; y por último, dar, con su vuelo, protección al muro.

Lo mas sencillo para cumplir tales condiciones es colocar las losas voladas que se sostienen por su propio peso si el tizón es suficiente, pero como esto exije que el tizón sea muy grande se han seguido otros procedimientos que luego indicaremos. En los templos griegos se adoptó el primer sistema que se ha citado; cada pieza de la cornisa es una losa gruesa apoyada sobre los triglifos y metopas del entablamento; el zófito está inclinado para que las aguas goteen y no corran hácia la pared. Esta disposición tiene á la par la ventaja de aligerar la parte volada. Todas las piezas van perfectamente engargoladas y con tochos (V. las láminas)

Cuando, como hemos dicho, se hace preciso se-

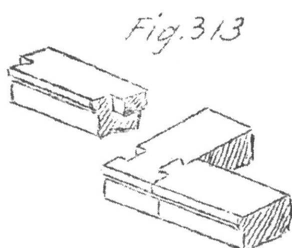

Fig. 310


Fig. 311


Fig. 312

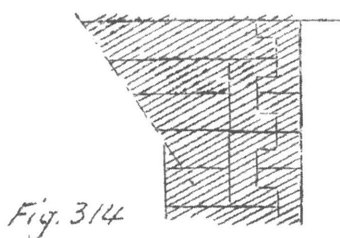
ducir el tirón conservando el vuelo se puede ganar este por medio de sucesivos voladizos (Fig. 310), ó dispone de trecho en trecho canecillos sobre los que descanse la cornisa (Fig. 311); las primeras se denominan cornisas corridas, y las segundas cornisas apeadas. Se pueden combinar estos dos sistemas poniendo sobre voladizos los canecillos, encima de estos otros voladizos, y de este modo ir ganando el vuelo total. Empleando piezas pequeñas pueden hacerse cornisas por el sistema de maxacanes, que consiste en voltear pequeños arcos de canecillo á canecillo y apoyar aquellas sobre el trasdós de estos arcos (Fig. 312); de este modo no es preciso, como en el procedimiento anterior, que las juntas de las losas correspondan al eje de los canecillos.

En esto hay muchas variantes, de las que, como ejemplos, citaremos algunas:

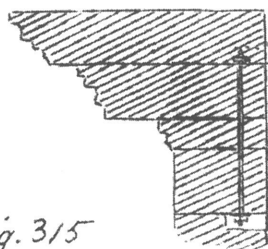

Fig. 313

1º Atizonar unas losas y sujetarlas bien y recibir entre estas otras por medio de cajas (Figura 313)

2º El sistema empleado en el palacio de Florencia, donde para obtener una cornisa de vuelo extraordinario sin que cabeceara el muro, al cual no podía darse bastante espesor en aquel sitio, se colocó un sistema de grandes

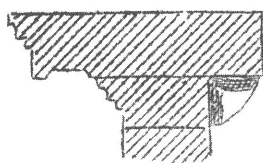

Fig. 314

grapas de piedras combinadas, disposición que á más de complicada (Fig. 314) es difícil y expuesta á accidentes por alguna de la labra ó del material.


Fig. 315

Mejor sistema es el seguido actualmente, ó sea engatillar las losas por el paramento interior (Fig. 315)

Nunca debe fiarse la estabilidad de la corona al peso de los pares de la armadura, pues caso de desaparecer estos, en un incendio, por ejemplo, la cornisa caería. Mejor es contrarrestar el peso de la cornisa con un voladizo interior (Fig. 316) que generalmente no causará estorbo por corresponder al sotabanco. Sobre todo ello viene el cimacio para recoger la canal ó la lima con sus correspondientes gárgolas de desagüe

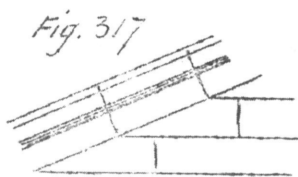

Fig. 316

Las piezas de esquina deben tener forma y proporciones convenientes para su estabilidad. Si la cornisa es apeada se disponen los canecillos de modo que queden dos en los extremos de la fachada, combinandose en el tirón, ó se coloca un canecillo de ángulo según la bisectriz.

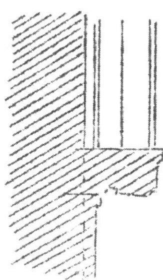
Hay otra clase de cornisas que vamos á estudiar y que se refieren al caso de los frontones.

En el arte clásico no ofrece ninguna dificultad la ejecución del tímpano, haciéndose por hiladas horizontales cuando no está formado

de fábrica mixta; la cornisa se construye con lechos normales á la pendiente en atención á que su altura es poca y á que resultarían muy agudos los ángulos si se conservase la horizontalidad de los lechos; dichas hiladas se unen entre sí con montacaballos invertidos si es preciso, (Fig. 317) La pieza de los ángulos inferiores es la que mas dificultad presenta, pues debe formar parte á la vez del tímpano, de la cornisa lateral, de la rampante del fronton y de la que corre horizontalmente por la base del mismo; esto constituye un problema, algo complicado, del corte de piedra, y exije para esa pieza un sillar de grandes dimensiones, lo que es conveniente para evitar el resbalamiento de las losas rampantes cuando no forman parte del tímpano.


Fig. 317

Sobre la corona van las figuras decorativas, y para su peso no la perjudique se retira algo el tímpano, á fin de que, no cayendo este á plomo con el arquitrabe, la carga que producen las figuras se reparta entre este y la corona (Fig. 318) Sobre el vertice y ángulo del fronton asientan las acróteras, necesidad verdaderamente decorativa, pues no hay tanta tendencia al resbalamiento de la parte rampante, como algunos suponen, para justificar el empleo de aquellos elementos dada la poca altura del frontón clásico


Fig. 318

Las cornisas de piedra se complicaron mu-

cho en la Edad Media, pero no dejarón de ser constructivas. Cuando se hacen de ladrillo caben ciertos vuelos con convenientes perfiles, como en el arte mudejar.

Hoy se abulta la cornisa con el mismo ladrillo mediante voladizos sucesivos ó por otros procedimientos, guarneciendola luego con yeso, y se corre por fin una terraja sobre reglones, llegando así á la forma ó perfil deseado.

Ahora bien, si como generalmente sucede, no basta con abultar voladizos de ladrillo, se emplea la madera con el mismo fin, quedando esta competamente encerrada y sin ventilación, y aunque no se altere, cosa que ocurre con mucha frecuencia, tiene movimientos que perjudican.

Deben, por consiguiente, emplearse elementos de mas unión y mejores condiciones, como el hierro, material que se presta mejor á disponerle en forma conveniente, y que se puede emplear en cornisas de cierto vuelo, formando palomillas, mejor visibles que ocultas, y unidas entre sí como sea preciso (Veanse las láminas)

---

b = HUECOS.

Los huecos, respecto de su objeto, pueden ser: de paso, de luces y de ventilación. El objeto determina la forma y disposición del hueco así como el material con que va á ser construido.

El hueco, en general, necesita un cerramiento que depende de su destino, y claro es que la forma

del cerramiento ha de influir también en la del hueco. Si dicho cerramiento ha de abrirse es preciso emplear una forma conveniente para ello, y nada mejor que líneas rectas, en cuyo caso los elementos componentes del hueco son: Dintel, jambas, repisa (en balcones y ventanas) ó batiente (en las puertas) (Fig. 319)

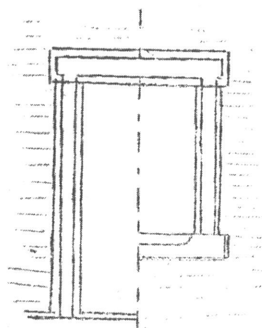


Fig. 319

También puede terminarse el hueco en forma curva, aún cuando es mas difícil su cerramiento y hay que modificar la forma de los alféizares. Hay una solución intermedia que consiste en adoptar montantes curvos, que, ó no se abren, ó á lo menos no son de servicio constante.

Desde el punto de vista constructivo es preciso que las hojas queden cerrando convenientemente y de aquí su sección horizontal

Si el hueco es de piedra y rectangular, ya hemos dicho los cuatro elementos que lo componen; estudiaremos cada uno de ellos separadamente.

Batiente. Es un sillar inferior que recibe las hojas de la puerta y modificado según el número de hojas que tenga el hueco (vidrieras, etc) Forma á veces peldaño con ligerísima inclinación para que no penetren las aguas. En la planta se dispone un pequeño rebajo para alojar el cerco de carpintería (Fig. 320); es pues, una pieza que no recibe carga de ninguna clase.

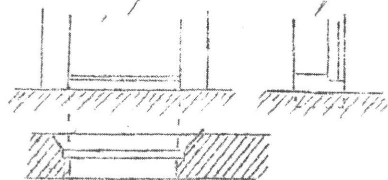
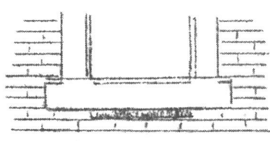
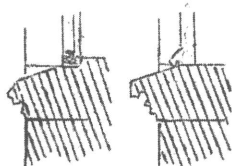


Fig. 320

Repisa. Puede tratarse de una ventana an-

tepechada con un macizo de fábrica ó de un balcón rasgado. En ambos casos la repisa es una pieza libre de carga en su parte central y cargada en los extremos con el peso transmitido por las jambas; por consiguiente la parte central no asienta y sí las laterales, lo que determina la rotura de la pieza de repisa; para evitarlo se coloca solo apoyada en dichos extremos, en la parte que corresponde á las jambas, quedando la parte central sobre un pequeño hueco (Fig. 321)


Fig. 321


Fig. 322

La repisa debe estar dispuesta para despedir las aguas al exterior; esto se consigue con superficies inclinadas y goterones. El trazado del perfil debe hacerse como el de una imposta cualquiera, cuidando de retallar de un modo ú otro para evitar que las aguas penetren (Fig. 322); en la segunda disposición es necesario un vierte aguas de madera que proteja la junta. En los dos extremos de la repisa se deja una parte de superficie plana y horizontal para asiento de las jambas.

En los edificios monumentales adquiere importancia la repisa y con sus grandes vuelos admite ménsulas y demás detalles que se mencionaron al tratar de las cornisas.

Si hay huecos gemelos corresponderá al centro la junta de las dos repisas, y sobre ella descansará la columnilla ó mainel. En la Edad Media se hicieron las repisas muy sencillas con un gran vierte-aguas que penetraba por debajo del macho

para evitar filtraciones.

Jambas. Deben ser de una sola pieza siempre que esto sea posible, teniendo en cuenta que están cargadas verticalmente; esto en cuanto á su alzado; respecto de su planta ocupan el telar y una pequeña parte del derrame, y el resto de este se puede construir de ladrillo. (Fig. 323) En el asentado de las jambas debe cuidarse de labrar perfectamente las superficies de asiento y emplear estucos finos y demás medios de repartir uniformemente las presiones.

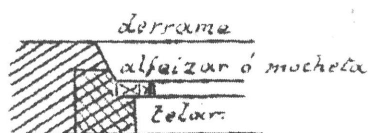
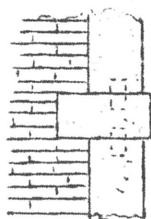


Fig. 323

Cuando las jambas no pueden ser de una sola pieza, se emplea en ellas el menor número posible de trozos, no olvidando la colocación de techos de piedra ó de bronce, embutidos por mitad en una y otra pieza, é intermedios de estuco ó láminas de plomo que eviten el desportillamiento de la piedra, lo que es muy fácil que suceda por ir colocada á contralecho para que dé el largo.


Fig. 324

Por esta razón prefieren algunos constructores alternar los trozos á contralecho con otros á lecho que se combinan con la fábrica lateral. (Fig. 324); pero hay en esto el inconveniente de que el mayor asiento de esta fábrica tiende á romper el sillar actuando sobre la cola embebida en ella. Este sistema de tranqueros se reserva para fábrica de mampostería

Si la jamba es entera admite moldura continua ó puede, por ejemplo, estriarse; pero si es

de varias piezas no deben labrarse molduras continuas, pues además de ser difícil el ajuste, puede haber movimientos que rompan el perfil.

Dintel. Es la pieza que cierra el hueco por la parte superior; no es preciso que abarque mas de lo que alcanzan las jambas y un pequeño tizón. Si es posible será de una sola pieza é irá perfectamente asentado sobre los lechos superiores de aquellas con pequeños tochos para evitar movimientos y separaciones.

Si el hueco, como sucede en muchos casos, es de cantería y va trasdosado de mampostería ó de ladrillo, la diferencia de asiento de estas fábricas le despedirá hácia afuera, y así es conveniente dejar por el interior cadenas que correspondan á las jambas.

La longitud del dintel no puede pasar de ciertos límites, pues es esta pieza difícil de conseguir y trabaja en malas condiciones. De aquí el empleo de los arcos de descarga sobre los dinteles para llevar el empuje á los lados, arco que generalmente son de poca sagita (Fig. 324) El hueco que queda debajo se tabica y guarnece ó se deja aparente.

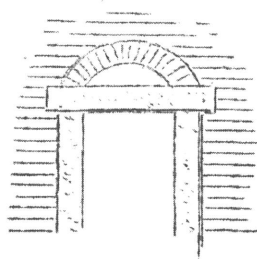
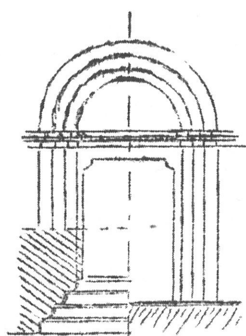
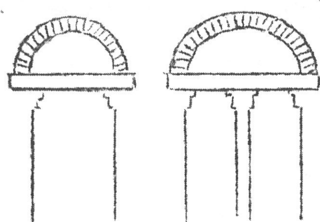


Fig. 324

En la Edad Media se desarollaban estos arcos de descarga como motivos decorativos, con archivoltas, etc. Esta importancia del arco y el gran espesor del muro han dado origen á la division de aquel en anillos superpuestos, adoptándose la misma disposición especial tanto en las


Fig. 326

jambas como en las puertas llamadas abocinadas de las Catedrales de dicha época. (Fig. 326), y si su importancia aumenta aparece esto combinado con el empleo de ménsulas que sostienen el dintel y disminuyen la luz, y tambien haciendo huecos gemelos con un mainel intermedio que si se quiere puede llevar ménsulas (Fig. 327) — Este sistema lo mismo se aplica á las puertas que á las ventanas


Fig. 327

En el momento en que no se puede emplear el dintel se coloca un arco adintelado, cuya forma ha de corresponder á la de la curva de presiones, prescindiendo de formas rectilíneas que llevan en sí graves inconvenientes; podria conservarse estas formas con armazones de hierro, pero es mal sistema.

Los inconvenientes que ofrece el empleo del arco son: 1.º el que ya se indicó respecto á las hojas de cierre, inconveniente que salva el montante; 2.º el gran desarrollo en altura; y 3.º el empuje, lo que es grave si el hueco está próximo á una esquina ó puerta cochera, pues puede perjudicar y hasta producir el desplome del machó.

Si la altura permite el desarrollo del arco no hay dificultad, pero si existe piso superior que lo limite, puede hacerse que la base del mon-

tante corresponda á la altura del piso, y el arco da así luz al piso entresuelo; con esta solución no es, en rigor, preciso ese hueco, que podría limitarse á dicha altura, ó sea la del piso, y en este caso pueden emplearse dinteles de hormigón armado con hierro y hechos con molde, es decir, dinteles de piedra artificial, de una sola pieza, cuyas dimensiones no se podrían conseguir con la piedra natural. El empleo de la armadura de hierro tiene su razón de ser en el hecho, que es un inconveniente que no debe olvidarse, de que el dintel trabaja por flexión y la carga tiende á romperle por su parte inferior, la que se refuerza, por ejemplo, con varillas de hierro forjado, material que se presta á trabajar por tensión, embebidas en la masa (Fig. 328); para evitar el resbalamiento de esas varillas, cosa que haría inútil su empleo, ó se enlazan entre sí á fin de que formen un conjunto, ó se retuercen en la fragua para que las superficies helicoidales que resultan impidan los movimientos; pueden emplearse otros medios conducentes al mismo objeto.


Fig. 328

Por la parte superior del dintel no hay cuidado alguno, pues la piedra artificial resiste bien la compresión que la deformación produce allí.

El arco, caso de adoptarse, se apareja como los ordinarios, por dovelas, sin emplear montacaballos en el caso de que se le combine con el despiezo del muro. Esta solución origina la desigualdad de las hiladas si se apareja dividiendo el arco en partes iguales, y por el contrario, si se conserva la igual-

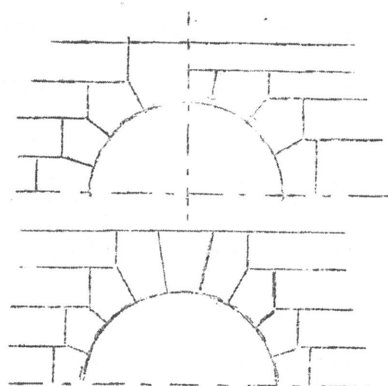


Fig. 329

dad en la altura de las hiladas, las dovelas aumentan progresivamente de tamaño hacia la clave; esto se evita no dando á las dovelas igual espesor, como se ve en los palacios florentinos de la Edad Media (Fig. 329) (V. las láminas)

Pueden emplearse dinteles de hierro laminado (umbrales) y actualmente casi nunca se hacen de madera. Las vigas se arman con viguetas combinadas por juxtaposición con objeto de no ocupar altura (Fig. 330), quedando una de ellas mas elevada para dar lugar al alfeizar. El enlace de estos elementos no aumenta la resistencia, y solo sirve para hacer que todas las viguetas trabajen al mismo tiempo; el mismo objeto puede conseguir con cinchos al exterior y al interior por medio de crucetas, hierros de pletina ó hierros de T acodillados (Fig. 331). Los cinchos no son continuos, y algunas veces se cuaja el interior con ladrillo y cemento que no ataca al hierro.



Fig. 330





Fig. 331

Cuando por razones económicas se sustituye el ladrillo á la piedra, las condiciones de todos los elementos del hueco son las mismas, pero la repisa no pasa por debajo de las jambas (las que, en rigor, no son tales en este caso, pues forman parte del muro) y se construye con una ó dos hiladas de ladrillo colocados á sardinel perfectamente guar-

necidos con cemento, dejando un pequeño saliente, y si se puede un goterón.

Respect á las jambas, mocheta y derrame no hay nada que hacer observar. Algunas veces se dejan nudillos embebidos para recibir los elementos de cierre que se sujetan á aquellos con tornillos, escarpias etc.; otras veces se ponen sillares ó adoquines para los gornes. Las aristas exteriores pueden revestirse con hierro de escuadra (guardavivos) para evitar los efectos de los choques á que estan expuestas, y cuando no puede hacerse uso del hierro se emplea la madera.

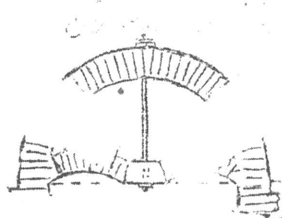
Si el cemento es de buena calidad puede construirse el dintel con ladrillos colocados de plano ó verticalmente, y para mayor seguridad se dirijen las juntas á un punto conveniente; esto tiene la mala condición de que el trasdós queda abierto, tocándose solo los ladrillos centrales en el intradós; por consiguiente no deben, para grandes luces, emplearse estos dinteles, aunque pueden cerrarse á bolsón, sistema que no es recomendable; es preferible hacerlo





Fig. 332

espina de pez (Fig. 332), pero en luces no exajeradas es aún mejor que las juntas concurran á un punto inferior. Es malísima construcción que no debe adoptarse nunca, aunque algunas veces se haya hecho, el colgar del arco de descarga una clave ó doble salmer de dos arcos muy rebajados (Fig. 333) El derrame y la mo-



cheta se forman, ó escafilando el ladrillo para adaptarlo á la forma conveniente, ó lo que es mejor por retallos. Los capialzados no se hacen de superficie continua, sino con arcos sucesivos retallados también.

El arranque de los dinteles necesita que se prepare el macho asalmerándole para lo cual es preciso raspar el ladrillo correspondiente á la línea ab (Fig. 334) Los constructores alemanes, al hacer el arranque del dintel, dejan el primer ladrillo de este entregado en el macho. Si ninguna de estas soluciones satisface, pues se sigue otro procedimiento, que consiste en colocar sillares dispuestos ya con la forma del salmer (Fig. 335)

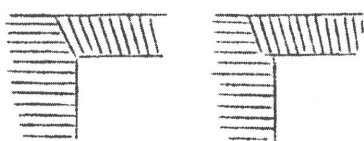


Fig. 334

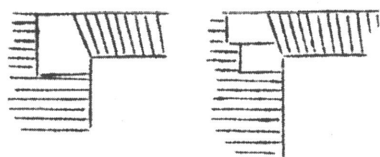


Fig. 335

Huecos de sótanos. Es de lo que únicamente queda algo que decir, pues en algunos casos pueden presentar dificultades. Si el sótano está semi-enterrado el problema es fácil, pues los huecos se abren lo mismo que en los casos anteriores; pero si el solado está muy bajo y queda poca parte descubierta de la altura total del sótano es preciso hacer descender la luz por una lumbrera (Fig. 336) ó, si se prefiere, vaciar una especie de foso ó hueco en el terreno (Fig. 337) que á la vez sirve para saneamiento del edificio.

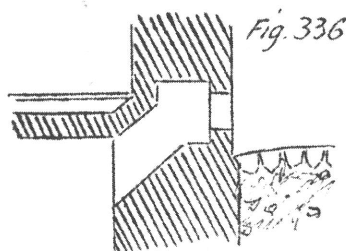


Fig. 336

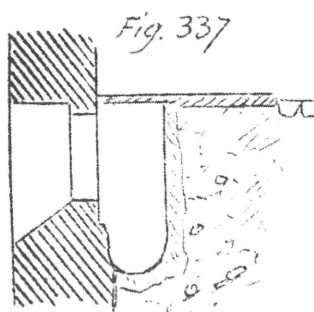


Fig. 337

En Inglaterra se hacen esos fosos contínuos, cubiertos con una rejilla y con el fondo dispuesto para conducir las aguas á las atargeas. Un ejemplo notable es el de los sótanos de la basílica de Montmartre: verdaderos fosos de seis metros de profundidad rodean el edificio y llevan antepechos en lugar de estar cubiertos.

Aún hay otro sistema: si el sótano estuviere cubierto con bóvedas y estas fuesen normales á la fachada, es fácil abrir huecos en los tímpanos que quedan, pero esto no puede hacerse si las bóvedas se voltean de fachada á traviesa (V. las láminas)

APÉNDICE

Pavimentos y solados.

Vamos á apuntar algunas ideas generales acerca de aquellas construcciones cuyo objeto es dar base al edificio con condiciones de estabilidad y de seguridad (Se tratarán con todo detalle en el capítulo correspondiente)

No siempre estará el terreno dispuesto para recibir el edificio; para ello ha de satisfacer á las siguientes condiciones: 1.º no ser compresible á la carga que va á recibir; 2.º ser seco, pues las aguas pueden ejercer una acción química por efecto de los elementos que entren en su composición, como cuando van cargadas de ácido carbónico, que perjudica á los morteros, y carbonatos en general, el cloruro de sodio, y también materias orgánicas y sustancias que al oxidarse producen otras tan perjudiciales como el amoniaco y el salitre. Todo esto prescindiendo de los graves perjuicios higiénicos que la humedad lleva en sí.

Cuando no se encuentra capa de terreno firme se constituye artificialmente como ya veremos; además es preciso que el asiento, si le hay, sea contínuo, y esto importa tanto mas cuanto que las cargas no

serán iguales en todos los puntos.

Establecido el cimiento se prepara el arranque de los muros, que, como pueden estar á distintos niveles, exigirán en tales casos la formación de retallos, taludes, muros de contención y gradinatas. Viene después el solado, revistiendo el terreno para protegerlo así de roces, efecto de la circulación, al mismo tiempo que proporciona comodidad para la misma.

Podemos clasificar los solados en tres grupos: 1.º enlosados: sobre el suelo ó terreno preparado se disponen losas de piedra natural ó artificial, ó de barro cocido, como baldosa, baldosín, etc.; 2.º materiales que se pueden reblandecer y estender sobre el terreno en capa mas ó menos gruesa; 3.º de piedra natural ó artificial en forma de tronco de pirámide ó paralelepípedo, comprendiendo el adoquinado, las cuñas y aun los firmes.

1.er grupo. Se emplean piedras duras y resistentes al rozamiento y á la humedad, pues van á estar al exterior, como calizas duras, silíceas, volcánicas, areniscas, etc.

Estas losas con el uso se pulimentan, y esto, que es peligroso para la circulación, se remedia estriándolo ó cuadriculando algo la superficie.

Respecto de dimensiones, dominan las horizontales sobre la vertical ó grueso, y rara vez pasa este de 0^m21 á 0^m28 si son piedras naturales.

Tenemos como ejemplo los enlosados de aceras, que pueden hacerse á junta perdida ó á cartabón. En el primer caso las juntas no se sujetan á ninguna ley de colocación, aunque es conveniente en

las aceras dejar juntas continuas, eligiendo las normales al eje de la calle (Fig. 338); en el segundo, las losas son cuadradas é iguales, y las diagonales de estos cuadrados van paralelas á los ejes principales del pavimento en general (Fig. 339)

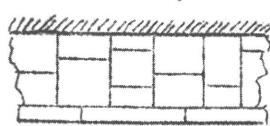


Fig. 338

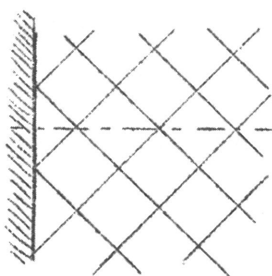


Fig. 339

Antes se prepara el suelo con las pendientes necesarias, y si el terreno es flojo se hacen avenamientos para evitar las aguas si son estas la causa de la falta de consistencia, pero si esta es efecto de la constitución del terreno y no se encuentra capa conveniente se prepara un lecho de hormigón hidráulico, con el espesor que las circunstancias exijan, y en algunos casos puede ser necesario hacer un subsuelo artificial.

Las losas no deben ser muy grandes para evitar que se rompan por las diferencias de asiento; si son cuadradas no han de pasar de 0m 70 á 1m 10 de lado, y esta última dimensión debe considerarse como la máxima para las de junta perdida. Se reciben con mortero y se apisonan con pisón de boca ancha; para la mejor unión con el mortero conviene labrar las juntas con algo de holgura y á desgaje (Fig. 340). Si el enlosado queda libre por uno de sus bordes, se encinta con adoquines prismáticos de 0m 14 á 0m 20 de ancho por 0m 20 á 0m 28 de altura y mayor longitud, los que enrasarán con el pavimento.

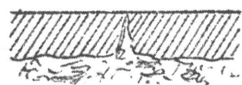


Fig. 340

Como caso particular tenemos los solados de baldosa, desde la ordinaria hecha á mano hasta el

baldosín obtenido por presión y con mejores materiales, las losetas de mármol, alabastro, pizarra, etc., y el mosaico con piezas preparadas en formas regulares para combinarlas. Se ejecuta el solado colocando primero las maestras, filas de baldosines, por ejemplo, junto á las paredes, á modo de encintado, á cota apropiada y en perfecto nivel; se cuaja luego la parte intermedia sirviéndose de nivel y regla; esta tiene que enrasar el cuajado, apoyándose al mismo tiempo sobre la cara superior de las filas maestras. En las plantas bajas se pone antes que el solado una capa de hormigón, y cuando se asienta sobre un techo se cuaja el espacio que dejan las viguetas y se enrasa con cascote.

Los baldosines se reciben con yeso, y la baldosa ordinaria con barro.

Los dibujos y combinaciones las hace el solador con un diagrama á la vista, sirviéndose del <u>haciche</u> para cortar las <u>chuletas</u> ó trozos de baldosín; este se corta, cuando el solado es muy esmerado, con plantillas de palastro, pudiendo ser el corte á junta perfectamente hecha, normal al plano superior ó al desgaje para que los baldosines contiguos solo se toquen por su arista superior. Lo mismo se hace en los solados de azulejos, mármol, pizarra, etc.

El mosaico Noya se emplea con mortero fino, ó con yeso si va sobre madera, y se alisa perfectamente la superficie empleando regletas de hierro, cuyo canto representa el espesor de las piezas de mosaico mas el de la capa que le recibe. Estas piezas conviene tenerlas en agua antes de su colocación para que no sean

tan absorventes de la lechada que los acompaña. El apisonado se hace sobre un tablero de madera, á fin de que sea uniforme, ejecutándose esta operación por zonas; y, por último, se procede al lavado.

Pertenecen también al mismo grupo los solados traslúcidos, que se hacen con losetas de vidrio cuadriculadas, estriadas, etc., del grueso necesario (unos dos centímetros) para la resistencia que deben ofrecer, y cuyos tamaños varían creciendo su lado de tres en tres centímetro. La colocación se hace sobre una especie de entramado que se forma con hierros de rebajo laminados, en cuyas aletas descansan las losas, y, como es consiguiente, de la forma y dimensiones de estas depende la disposición del emparrillado. Los vidrios se reciben con cemento ó masilla, dejando siempre una pequeña holgura para evitar las roturas por efectos de la dilatación

Generalmente estas losetas se venden al peso, siendo el del metro cuadrado de 70 á 75 Kilógramos.

Hay otros vidrios que por su disposición especial facilitan la penetración de la luz concentrándola en determinados puntos, por ejemplo; pero tanto estos como las demas variedades que se fabrican no ofrecen dificultad ninguna para su empleo y colocación en obra.

2º grupo. Los materiales que comprende este grupo son, en primer término, el yeso, el mortero y el hormigón. El solado de yeso es de poquísima duración y solo pudiera emplearse en construcciones de muy escasa importancia; los de mortero y hor-

migon son mas usados, y se hacen estendiendo con espátulas las materias que los forman, despues de bien mezcladas, y para poner plana la superficie se emplean reglones á modo de guías.

Comprende tambien este grupo los mosaicos á la romana: después de estender una capa preparatoria, se colocan cubos de marmol, alisando la superficie general por medio de una ligera presión.

Tenemos así mismo los solados de asfalto y de caucho; en los primeros no se emplea el asfalto puro, sino mezclado con cierta cantidad de caliza asfaltica pulverizada, formando con ello losetas ó ladrillos que se funden en calderas al pie de obra, agregando despues arena cuarzosa para darle mayor dureza y consistencia, y se estiende con palas. La arena ha de estar bien lavada y la mezcla se hace cuando el asfalto está en fusión.

No es conveniente preparar el suelo con entramado de madera ó hierro toda vez que el sistema solo da buen resultado en planta baja; el subsuelo se forma con hormigón, dejándole secar perfectamente, pues de otro modo al estender sobre él el asfalto caliente se producirian vapores que darian lugar á abolsados perjudiciales. El asfalto se estiende y alisa con regletas de hierro que corren sobre reglones directores y para que su superficie no sea tan resbaladiza se pasa en caliente un rodillo estriado ó cuadriculado, ó se incrusta una capa de arena cuarzosa, si bien esto tiene el inconveniente de hacer el efecto de esmeril.

Por su mucho coste están poco generalizados entre

nosotros los solados de caucho, y solo se ven en algunas cuadras de lujo; dicho producto se emplea mezclado con arena y su principal ventaja es cerrar perfectamente el paso á la humedad. Las piezas se unen disolviendo el caucho en la nafta, que luego se evapora, haciendo esta disolución el efecto de mortero.

Otros materiales hay que también se emplean en los solados, pero no constituyen, sin embargo, variantes del sistema.

3er. grupo. Empedrados en general. Los elementos empleados son paralelepípedos, prismas, troncos de pirámide, etc. En cuanto á la forma de estos elementos distinguiremos: empedrado de adoquines, de cuñas, de canto rodado, y, como límite, el afirmado de piedra machacada para carreteras.

Adoquinado. Las dimensiones de los adoquines son: 0m.14 á 0m.16 de altura, 0m.10 á 0m.12 de lado menor y 0m.28 de longitud; tienen ligeramente la forma de cuña para que se adapten al bombeo ó curvatura que se da al subsuelo que va á recibir el adoquinado, con objeto de que despida bien las aguas y las recoja en los lados.

Deben ser los adoquines de piedra dura é inalterable y que no se pulimente mucho por el rozamiento. El subsuelo se prepara, si es preciso, con afirmado y escombro calizo y hasta puede ser necesario hacer avenamientos; generalmente basta apisonar bien el terreno natural ó á lo sumo poner una capa de hormigón.

Después de preparado el subsuelo se extiende una capa de arena limpia apisonada y sobre ella se coloca el adoquinado cuidando de que los adoquines no se toquen entre sí, y los espacios que quedan se rellenan con arena suelta, que contribuye á repartir las presiones. Se dirije la colocación sirviéndose de maestras, que son adoquines situados de trecho en trecho para marcar la altura del empedrado en los puntos que respectivamente ocupan, y de unas niveletas. Por último, hecho el adoquinado se apisona con pisón de 35 á 40 kilogramos de peso, bien cinchado, y se receba con arena suelta, pero sin lechada de mortero, como antes se hacía, y que, con muy buen acuerdo, se ha suprimido.

Empedrado de cuña. Es análogo al anterior; las cuñas son piedras duras labradas á martillo, y cuyas dimensiones son, próximamente $0^m 20$ por $0^m 10$ por $0^m 14$, constituyendo un empedrado mas áspero, pero mas económico que el de adoquines.

Empedrado de canto rodado. Se toma en él la precaución de colocar los cantos con su cara mayor sirviendo de base para evitar que se claven en el terreno. Conviene recercar y dividir en compartimentos ó zonas con ladrillos, por ejemplo, colocados de canto ó adoquines, pues se logra así cierta independencia entre una y otra zona para el deterioro y los reparos se hacen mas facilmente.

En los puntos de mayor acumulación de aguas, como en las arroyadas, se reciben los cantos rodados con mortero de arena cuarzosa limpia y algo gruesa, y el subsuelo se hace de hormigón.

afirmado de piedra machacada. Si las piedras son de igual tamaño, este afirmado se designa con el nombre de Mac-Adam. Para establecerle bien se abre la caja en el terreno natural, dejando á los costados de la carretera los paseos separados por las cunetas. (Fig. 341)

La piedra se reduce á fragmentos cuyo tamaño no esceda de cierto límite; para averiguar si esta condición se cumple se los hace pasar por un anillo del diámetro conveniente y el trozo que no pase se tritura algo mas. Las cualidades de la piedra son las exigidas en los otros solados.

Una vez abierta la caja se rellena con la piedra machacada estendida por capas (Fig. 341), poniendo la de mayor tamaño en la mas profunda, y disminuyendo este en las sucesivas; se nivela y da la curvatura con plantillas convenientes. Por lo general la piedra se distribuye en tres capas: la primera con trozos de 0m.075, de 0m.04 la segunda y de 0m.02 la tercera. Despues se hace el recebo que solo debe ser lo necesario para llenar los intersticios pues el esceso no serviria mas que para producir barro ó polvo, y por la misma razón debe emplearse para el firme piedra que no se descomponga; por último se hace el apisonado, generalmente con rodillo para dejar una superficie lisa y contínua.

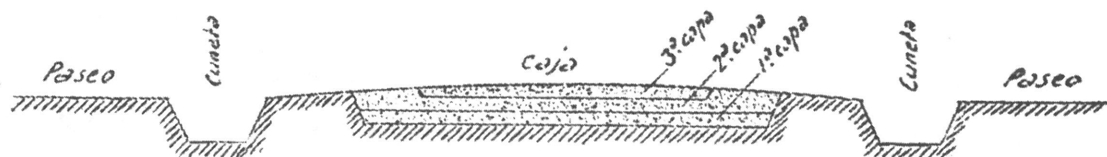


Fig. 341

SEGUNDA PARTE

MADERA

Generalidades

El material de que ahora nos vamos á ocupar difiere esencialmente en sus condiciones generales del que hasta aquí hemos estudiado. En efecto, la piedra se distingue por su peso, dureza, rigidez y resistencia á la destruccion bajo la influencia de agentes exteriores; por el contrario, la madera se caracteriza por su ligereza, flexibilidad, alterabilidad y ser sumamente combustible; no puede haber, por lo tanto, semejanza alguna entre las construcciones ejecutadas con uno ó con otro de estos materiales.

Difieren tambien la piedra y la madera por la forma en que se nos presentan, puesto que la primera ~~es~~ estiende en todos sentidos, mientras que en la segunda domina la longitud sobre las otras dos dimensiones, no pudiendo pasar la seccion de ciertos límites dados por el tronco del arbol.

Desde el punto de la formacion ó crecimiento, en la piedra se verifica por agrupacion sucesiva de capas, y en la madera tiene lugar por superposicion, radiando en torno del estuche medular, el cual es envuelto cada año por una nueva capa.

En cuanto á la resistencia debe notarse que la madera es alterable no solo por los agentes atmosféricos ordinarios y por el fuego, sino tambien por otras causas peculiares como la descomposicion de jugos y e-

gidos que aquellos impregnan al no estar cortada en sazón.

Todo, pues, justifica la diferencia que debe haber entre las construcciones de piedra y las de madera.

La disposición de las segundas no puede, de ningún modo fundarse en la superposición de elementos, salvo casos excepcionales como ciertas construcciones del norte de Europa. La disposición ha de hacerse de tal suerte que sea característica del material, que resista bien á la tracción y á la compresión y procurando siempre que los esfuerzos y el trabajo sean en el sentido del eje, que es la mejor situación para las piezas. En lugar de macizos continuos habrá aquí entramados, armazones ó combinación de piezas formando red y trabajando cada una en la forma que se ha indicado.

Según se ve, la madera no constituirá así cerramiento por sí sola y necesitará ir acompañada de otros elementos, del mismo material ó de otro distinto que cierre los huecos del esqueleto ó armazón. Habrá, pues, en toda construcción de madera, dos partes: 1ª la osatura ó red resistente, y 2ª, el relleno, que como acaba de decirse, podrá ser de madera, pero es lo mas general hacerle de fábrica de albañilería, porque á mas de cerrar los espacios contribuye á la resistencia del conjunto, evitando flexiones laterales y estableciendo el conveniente enlace.

Algo de esto se indicó ya al tratar en la PIEDRA de las construcciones articuladas, pero aquí hay mayor separación entre las dos partes.

Antes de entrar en el estudio de los elementos del

edificio, recordaremos algunas generalidades propias del material y digamos algo acerca de su colocación en obra. Desde luego prescindiremos de ocuparnos de la corta y escuadría de las maderas, asunto que no corresponde á esta asignatura, ni hemos de enumerar las enfermedades que les hacen inservibles, etc. etc; entiéndase que solo tratamos de la madera rolliza, sin capas corticales. La sección mas baja en el tronco descortezado es el raigal, la superior la cogolla.

Rara vez se emplea la madera con la forma del tronco; lo mas común es darla la forma de paralelepípedos rectangulares, en los que la cara correspondiente al lado mayor de su sección recta se llama tabla, la correspondiente al lado menor canto, y la longitud se denomina linea.

Las piezas vienen del monte ya con la primera escuadría dada con el hacha, pero solo aproximadamente á fin de que en la conducción no perezcan las aristas vivas definitivas. La segunda escuadría, perfecta y regular, se da en el taller ó al pie de obra, con la azuela ó la sierra generalmente, ó con el cepillo ó la garlopa si se desea mas finura.

Se llama madera de hilo ó enteriza la que se obtiene de un tronco quedando en el eje el corazón de este; si de esta pieza se sacan otras varias las que resultan reciben el nombre general de maderas de sierra. En la carpintería de armar se usa casi exclusivamente la madera enteriza; en la de taller solo suele emplearse la madera de sierra ó serradizo en forma de tabla, alfargia, terciado, etc.

La forma y dimensiones en que hallamos la ma-

dera en el comercio dependen de la clase y desarrollo de los árboles en la localidad de donde proceden, de las costumbres seguidas en las construcciones del país, y de otras varias circunstancias; de aquí nacen las diferentes nomenclaturas usadas según las regiones, y el constructor necesita conocer las dimensiones y formas empleadas en la localidad donde va á ejercer su profesión, es decir, el marco de la madera, que en España es muy variable de unas provincias á otras y aún dentro de algunas de ellas.

Como el enumerarlas todas sería tarea muy larga solo haremos algunas indicaciones de la nomenclatura adoptada en Madrid, que es la siguiente:

Madera enteriza - Comprende dos grandes grupos: madera gruesa (9 × 6,5 pulgadas y longitud indefinida) y madera menuda (con menor sección que la anterior y longitud definida)

La madera gruesa comprende:

Media vara	tabla	18	pulgadas	× 12	canto	y longitud varia
Pie y cuarto	"	15	"	× 10,5	"	" "
Tercio	"	12	"	× 9	"	" "
Sesmo	"	9	"	× 6,5	"	" "

Se entiende que las longitudes de todas estas piezas no excedan de veinticinco pies, desde cuyo límite se tiene que pagar un sobre precio llamado encuarte. Pasando de treinta pies hay un segundo encuarte que afecta del mismo modo que el primero á cada pie de la longitud total.

La madera menuda, en la que ya esta determinado el largo, comprende:

Vigueta ...... 9 pulgadas tabla × 6,5 canto × 22 pies longitud

Media vigueta ...	9 pulgadas tabla	× 6,5 canto	× 12 pies de longitud	
Madero de á seis ...	8 "	" × 5 "	× 18 "	"
Medio madero ...	8 "	" × 5 "	× 10 "	"
Madero de á ocho ..	6,5 "	" × 4 "	× 16 "	"
Madero de á diez -	3,5 "	" × 5 "	× 14 "	"

En las dimensiones consignadas se admiten tolerancias teniendo en cuenta que el arbol no siempre permite obtener una sección igual y constante para una longitud determinada, y por esto se cuenta la escuadría al tercio de la altura á partir de la cogolla. Estas tolerancias se prefijan en los pliegos de condiciones.

Cuando la madera del comercio no da las dimensiones que son necesarias, hay que agrupar elementos justaponiendo ó superponiendo piezas hasta tener la escuadría que sea precisa; una cosa análoga se hace para los largos, combinando las piezas entre sí con cortes especiales que faciliten el empalme ó unión; pero no basta en algunos casos, y entonces hay que reforzar los ensambles con auxiliares metálicos, como clavos, tornillos, pernos, grapas, etc, que ya esplicaremos en el lugar correspondiente.

Estudiemos ahora la composición de los entramados y á que leyes debe obedecer la composición de su red.

1er principio. La invariabilidad de forma del conjunto de los diversos polígonos que forman su diagrama

2º principio. La economía, dentro de la condición anterior. Para esto hay que considerar que un entramado se puede proyectar, ó con piezas de gran-

des dimensiones ó con mayor número de ellas de pequeño tamaño; la conveniencia de adoptar una ú otra solución depende de las circunstancias especiales de cada caso particular, pues es evidente que si el coste de la madera es relativamente pequeño y grande el de la mano de obra, deberán emplearse piezas grandes, y las de dimensiones reducidas en el caso contrario; la elección del sistema está, pués, indicada por la localidad, la época y los medios materiales de que se dispone; en la Edad Media se emplearon elementos pequeños, y actualmente se utilizan con preferencia las grandes piezas por la simplificación de la mano de obra.

3.er principio. Hay que dar dimensiones convenientes á las piezas del entramado, para lo cual se descomponen los esfuerzos definiéndolos en cada una de aquellas y dando las dimensiones que exijan con arreglo á las leyes de la Resistencia.

Queda, como última parte, el estudio de los enlaces entre las diferentes piezas, cuyos ensambles dependen de la posición relativa de estas y de la clase de esfuerzos á que van á estar sometidas; lo primero es indudable que influye en la trasmisión de esfuerzos, y claro está que también debemos tener en cuenta la clase de estos, pues no puede adoptarse un mismo medio de unión para un esfuerzo de compresión, por ejemplo, que para otro de tracción.

Solo falta resolver, como hemos indicado ya, el caso en que no se encuentre en el comercio la pieza que se precisa, lo que obliga á su composición ó armado, cuestión de gran importancia en épocas anteriores,

y que hoy se resuelve fácilmente con el auxilio del hierro.

Armado de vigas.

Las vigas armadas pueden componerse por juxtaposición ó por superposición de elementos. Si se trata, para fijar las ideas, de una viga de suelo, puede aumentarse su resistencia de uno ó de otro modo; en la juxtaposición el enlace no aumenta la resistencia pero hace que se reparta perfectamente el trabajo, cualesquiera que sean los movimientos de la carga. No sucede lo mismo cuando se superponen los elementos, que, si pueden resbalar libremente uno sobre otro, trabajarán con completa independencia; pero si hay enlace que impida esos movimientos longitudinales en la deformación de cada una de las piezas, la viga armada viene á ser equivalente á otra de escuadría igual á la total resultante de las componentes. A idéntico resultado llegamos por la observación de las fórmulas que da la Resistencia de Materiales: el momento de inercia de una viga de escuadría $a \times b$ está dado por la expresión $\frac{Rab^2}{6}$; el de tres de estas piezas juxtapuestas es $\frac{3Rab^2}{6}$, y el de las mismas superpuestas $\frac{9Rab^2}{6}$; es decir, que la resistencia en las tres disposiciones dichas está en la relación de 1 á 3 á 9.

Diversos son los medios de que disponemos para hacer la unión, pero ninguno logra por completo su objeto. En primer lugar los endentados,

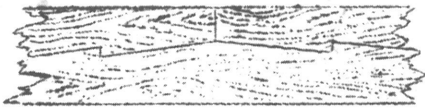


Fig. 342

dispuestos en las caras en contacto (Fig. 342); los dientes deben estar trazados de modo que impidan el resbalamiento, ó sea presentando sus cantos á ese esfuerzo de resbalamiento hácia los extremos, no debiendo ser dichos dientes ni muy anchos ni demasiado estrechos, pues en el primer caso el movimiento que se trata de impedir podría verificarse en la longitud de cada diente, y siendo muy estrechos, ó lo que es lo mismo, estando muy próximos entre sí, hay el peligro de que se astillen; si el relieve es poco, las mermas de la madera pudieran facilitar el resbalamiento, y de ser demasiado profundo tambien se astillarían facilmente el endentado.

De aquí que la regla práctica seguida por los carpinteros sea siempre que la altura total, la del conjunto, no pase de 0m80, dar al diente un resalto igual á la décima parte de esa altura, influyendo en su longitud la calidad de la madera y la necesidad de que el número de dientes sea entero.

Las piezas se disponen siempre en número impar: la de abajo enteriza, y dos medias arriba con la junta al centro, cuidando de introducir en esa junta una hoja de madera muy delgada ó mejor una chapa de plomo ó de zinc para igualar las presiones y evitar astillamientos. Cuando hay que empalmar en la pieza inferior se ponen dos y arriba tres, y así sucesivamente, cuidando de que el endentado sea simétrico con relación al eje. Los dientes deben ser perfectamente iguales, dibujados

con plantilla de madera, dando á la pieza armada, para el mejor ajuste, una ligera curvatura cuya flecha es de $\frac{1}{50}$ ó $\frac{1}{60}$ de la longitud, y en sentido contrario al de la flexión que luego ha de tomar (Fig. 343).



Fig. 343

El trazado de los dientes se hace de la siguiente manera: se divide la altura total (Fig. 344) en

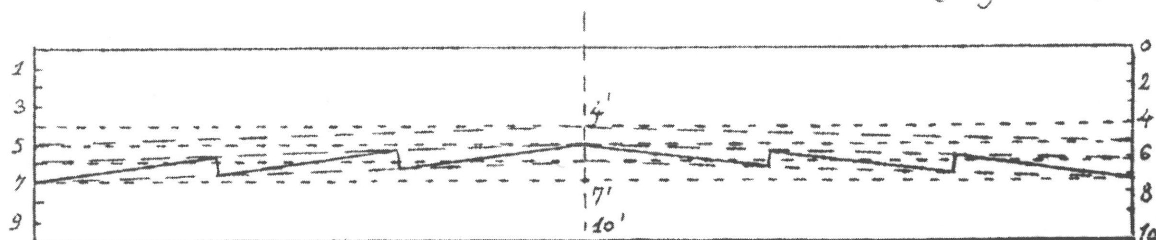


Fig. 344

10 partes iguales, trazando las horizontales 4-4, 5-5, 6-6, 7-7 para referir al eje vertical esos puntos en los 1', 2', 3'.....10'; hecho esto se une el 4' con los 5 de los estremos, y el 5' con los 6, y dividiendo la longitud de la viga en un número par de partes, igual al de dientes que sean necesarios, se termina el trazado facilmente como se ve en la figura

Se colocan pasadores cerca de las juntas y de los estremos, y si los dientes son muchos se ponen otros pasadores en el centro de las piezas (Véanse las láminas) Algunos autores dan la preferencia á los cinchos de hierro dulce sobre los pasadores de cabeza y tuerca.

Por mucho esmero que se haya puesto en la ejecución de los dientes, las mermas de la madera pueden producir destiramientos, y ya que no sea posible evitarlos, para prevenir su efecto se hace que los dientes no ajusten con perfección, sino que de-

jen pequeños huecos entre sus planos verticales con el objeto de introducir allí cuñas que puedan ser, en caso necesario, convenientemente apretadas, (y para uniformar mejor la presión, debe ponerse dobles cuñas invertidas. Algunos constructores modifican el sistema y suprimen los dientes por la dificultad de su ejecución, y solo emplean cuñas entre las caras en contacto (Fig. 346), obteniendo el mismo resultado siempre que se dispongan perfectamente los pasadores, y es inútil advertir que en lugar de un tarugo se pueden poner dos con sus cabezas invertidas. Finalmente, otros prefieren emplear los tarugo de sección de toledana ó doble cola (Fig. 347) pero este sistema es poco usado.

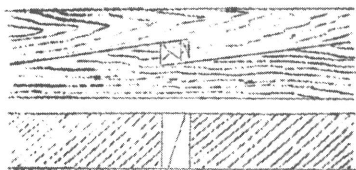


Fig. 345



Fig. 346



Fig. 347

Las cuñas y tarugos deben sacarse á través del hilo para que sufran la presión en el sentido de la fibra y se contraigan así mucho menos que si se ejerciera normalmente á ella.

Por lo que queda expuesto se comprende que el armado de vigas es uno de los trabajos mas difíciles y complicados que ejecuta el carpintero de armar.

Se han propuesto para estas vigas otras muchas formas (Vease el Tratado de Carpintería De Emy) como, por ejemplo, aquellas en que el esfuerzo tran-

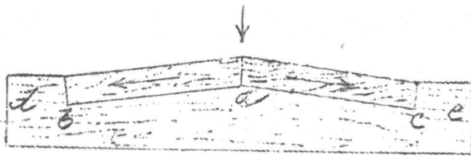
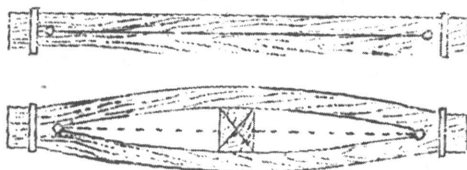
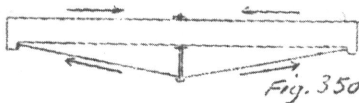
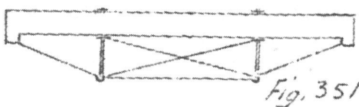


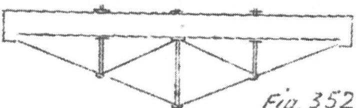
Fig. 348

versal se convierte en longitudinal, (Fig. 348), empleándose chapas ó delgadas cuñas de madera en las puntas a, b, c, y contrarrestando los esfuerzos con dimensión suficiente en ce y bd para evitar la rotura de estas partes; otra disposición consiste en componer la viga con elementos separados, con almas caladas ó celosías, como las vigas llamadas americanas, enlazandose las cabezas por diagonales entrecruzadas. Hay también las vigas de Laps, que dan aumento de rigidez mas que de resistencia á la rotura; hechos dos taladros (Fig. 349) cerca de las cabezas, después de haberlas cinchado perfectamente para que no se rajen, se unen aquellos con un corte de sierra y por él se introduce un tarugo ó cuña que obliga á arquearse á las dos porciones que la sierra ha separado. Esta viga fué empleada por su autor como tirante en los cuchillos de su armadura, sirviendole para dar puntos de apoyo á los pies derechos que apeaban los pares.


Fig. 349


Fig. 350


Fig. 351


Fig. 352

Como última sección de vigas armadas citaremos aquellas en que interviene el hierro, ya sea en forma de biela y dos tirantes (Fig. 350), ya con varias de estas piezas combinadas (Figs. 351 y 352)

Elementos auxiliares. En determinados casos, y á veces con economía, se sustituyen los ensambles con estos auxiliares, muy poco utilizados en las construcciones, pero hoy está generalizado su uso por la facilidad con que se obtienen. En primer lugar tenemos los

Clavos. Se fabrican de hierro dulce de buena clase; según sus dimensiones se clasifican en clavazón gruesa, de seis pulgadas de longitud mínima, y se emplea en la carpintería de armar, y clavazon menuda, menor de seis pulgadas, que sirve para la carpintería de taller.

En la clavazón gruesa hay las siguientes clases:

Estaquilla	de 24 pulgadas de longitud		
Media estaquilla	de 15	id.	id.
Clavo de á pié	de 12	id.	id.
Clavo de á cuarta ...	de 9	id.	id.
Bellote	de 7	id.	id.
Bellotillo	de 6	id.	id.

Cada una de estas clases tiene la sección correspondiente á su longitud, y para evitar abusos en los pliegos de condiciones se consigna el número de unidades que ha de entrar en cada arroba de peso; por término medio entran: estaquillas, 20; medias estaquillas, 25; clavos de á pié, 45; id. de á cuarta, 65; bellotes, 70 y bellotillos, 75.

El cuerpo de estos clavos afecta una forma ligeramente piramidal, lo que ofrece el inconveniente de que, obrando á modo de cuña, rajan la madera; por esta razón prefieren algunos constructores los cuadradillos, varillas de sección cuadrada con

punta piramidal, y para que penetren mejor se hace un barreno en el sitio oportuno.

En la clavazón menuda hay alfileres ó puntas de París, con nomenclatura especial; se miden por su largo y por el calibre del alambre de que están formados, expresados por una fracción, cuyo numerador es el calibre y el denominador la longitud; así, alfileres de $\frac{12}{21}$ quiere decir: alfileres del calibre 12 y de 21 líneas ó milímetros (según la fábrica de procedencia) de largo.

Tornillos. Llevan una rosca en toda ó en parte de su espiga, y se diferencian, además, del clavo en que penetran por rotación y no por percusión.

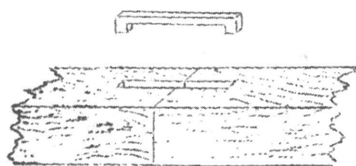
La cabeza, ya sea saliente ó embutida, con los diferentes nombres de cabeza de gota de sebo, fresada, enrasada, etc, va siempre preparada con una ranura para recibir la acción de la llave que lo introduce.

Se distinguen en el comercio del mismo modo que la clavazón menuda, con dos números, el del calibre y el que expresa la longitud. Conviene usarlos preparados para que no se oxiden, y nunca deben introducirse á golpe, pues desgarrando la madera á su paso, se pierde mucho en cuanto á la sujeción y dificultad de salida.

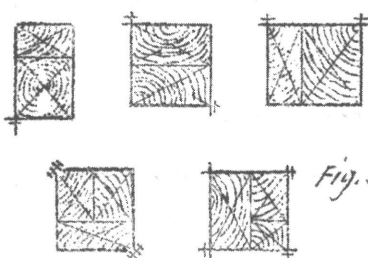
Pernos. Son varillas ó espigas de hierro dulce, terminadas por un extremo en una cabeza fija y por el otro en una parte aterrajada para ser cogida por la tuerca, cuya presión, después de colocado el perno en su sitio, es la que determina la fijeza. Generalmente, la sección de la varilla es circular, y la cabeza, que va perfectamente soldada en el extremo, puede

ser cuadrada ó exagonal para que pueda ser cogida por la llave y también para evitar giros cuando va embutida. En la parte inferior lleva un ojo y su correspondiente chaveta, ó bien, como antes se ha dicho, una parte aterrajada y su tuerca, siendo estos los mas usuales, y teniendo los primeros su aplicación preferente en las fábricas. También puede ser la cabeza en forma de gota de sebo; lo esencial en los pernos es que estén fabricados de excelente hierro.

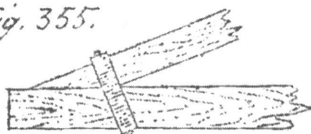
Grapas. Son elementos de poca aplicación; sirven para mantener unidas ó enlazadas dos piezas yuxtapuestas (Fig. 353). Afectan la forma de doble acodillado con dos puntas que se clavan.


Fig. 353.

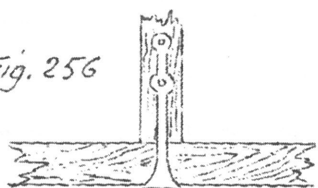
Cinchos. Estos auxiliares son de mayor aplicación que las grapas, y consisten en anillos de hierro destinados á unir y sujetar piezas sobrepuestas. Si el anillo es de una pieza, se forja la llanta que le forma y se sueldan los dos extremos; la colocación se hace en caliente para que por la contracción del hierro al enfriarse se obtenga la mayor sujeción; si hay dificultad para pasar el cincho por las cabezas de los maderos, se forma de dos ó mas piezas (Fig. 354)


Fig. 354

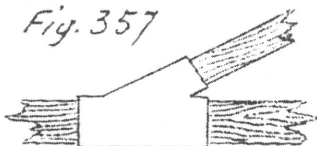
Abrazaderas ó bragueros. Son cinchos que sujetan á una pieza la otra en posición oblícua, como, por lo ejemplo, sustituyendo ensambles de pares con tirante de armadura (Fig. 355)


Fig. 355.

Bolsones ó estribos. Se emplean para unir los pendolones con los tirantes en lugar del ensamble correspondiente. Se componen de una especie de estribo (Fig. 256) con dos ramales, que, ciñendose al pendolón y clavados en él, cuelgan el tirante l.


Fig. 256

Como auxiliares de mas importancia, que por sí solos constituyen ensamble, citaremos las cajas de hierro (Fig. 357), de forma apropiada y huecos proporcionados á las piezas que van á recibir. Tambien se usan para reforzar los ensambles, escuadras planas ó de canto, y las dobles escuadras, que pueden ser en forma de I, de cruz, etc., y cuando se quiere que queden embutidas, se hacen en la madera el cajeado necesario.


Fig. 357

Terminados estos preliminares, entremos en el estudio de los elementos fundamentales del edificio, que son aquí, como en la piedra, el TECHO, el SOPORTE y la PARED. (Vease Parte primera, pág. 1.)

ELEMENTOS FUNDAMENTALES DEL EDIFICIO

I. TECHO

El oficio del techo es, como ya dijimos en la primera parte, dividir el edificio en sentido horizontal y cubrirlo por la parte superior.

Vamos á comenzar el estudio por el del suelo, elemento que sirve á la vez de techo, y que se compone de dos partes: el entramado y el forjado.

En cuanto al entramado, la disposición mas sencilla que puede dársele, recordando que el edificio está dividido en crujías, apoyar vigas, paralelamente y sobre sus cabezas, sobre las traviesas que limitan esas crujías (Fig. 358), empleando vigas del largo necesario.

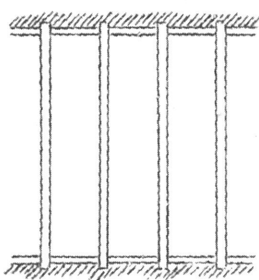


Fig. 358

La primera condición que se establece al tratar de los entramados en general, es la invariabilidad del conjunto, y queda satisfecha sujetando las vigas por sus extremos á la carrera ó al mu-

ro. Además, si la distancia entre los ejes de estas vigas concuerda con el elemento que va á formar el forjado, y si la escuadría es proporcionada á la carga que han de recibir, el entramado estará en perfectas condiciones.

Este sistema, sin embargo, solo es económico para pequeñas luces, pues si estas son superiores á 6 ó 7 metros, resulta caro el suelo por exigir vigas de mucha longitud y sección. En este caso debe dividirse el suelo en tramos de tres ó cuatro metros por medio de vigas principales ó maestras, de la necesaria sección, y sobre estas se apoyan otras viguetas pequeñas (Fig. 359). Aún así pudiera resultar caro el procedimiento, y en tal caso hay que acudir á una división ingeniosa del espacio que es preciso cubrir para llegar á necesitar solo vigas de pequeñas dimensiones (Fig. 360) Este sistema tuvo importancia grande en épocas en que la mano de obra era muy barata; al presente, las vigas de hierro, tubulares y armadas, resuelven el problema facilmente.

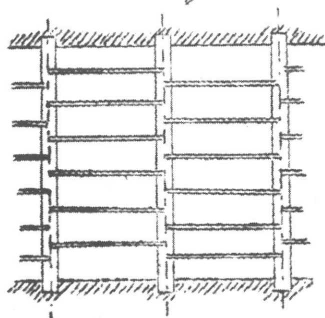


Fig. 359

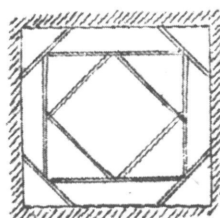
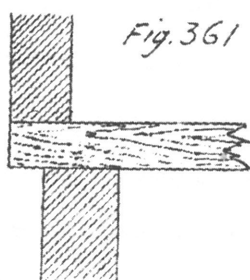


Fig. 360

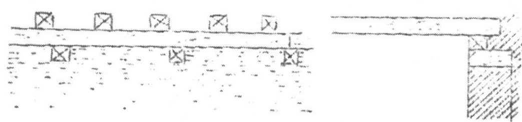
Vamos ahora á detallar las disposiciones indicadas. Respecto de la primera, ocupémonos, ante todo del enlace de las viguetas ó maderos de suelo con las carreras ó las fábricas que limitan la crujía, y no debe olvidarse que si hacemos que esas vigas queden como empotradas, su resistencia aumenta.

Si las traviesas de carga son entramadas, á las

altura del suelo va una corona de carreras perfectamente horizontales, sobre las que apoyan sus cabezas las vigas de suelo y se clavan en aquel sitio. Si estos maderos han de quedar al descubierto, se cepillan y sacan baquetones y demás adornos que exija la decoración, pero si van ocultos basta deshilarlos, generalmente con la azuela, por su cara inferior para poder dar horizontalidad perfecta al cielo raso. Como la cara superior de la carrera es, cuando mas, de un pié de ancho, no parece que puede quedar el madero suficiente apoyado, y para mejorar esto hay varias soluciones, entre otras la de dejar las creces de la viga apoyadas en la fábrica, ó, como se hacía en la Edad Media, retallar en salida, desplomando algo el paramento en el punto correspondiente (Fig. 361). Tratándose de un entramado interior no hay dificultad en dejar las creces como se ha dicho.


Fig. 361

Si las vigas de suelo se hacen descansar sobre la fábrica es preciso dejarlas ventilación para que no se pudran; ademas, á fin de repartir bien las presiones de modo que no originen asientos ni roturas, se apoyan las cabezas sobre una pieza de madera ó carrera embutida en la fábrica, pieza que no es necesario que sea enteriza dado su modo de trabajo, por presion, ni de grandes dimensiones; generalmente son piezas cachadas (tercia ó sesma dividida en dos) entomizadas, descansando sobre nudillos (Fig. 362) tam-


Fig. 362

bien entomizados ó asolados, que se acompañan con la fábrica y en los que se clavan las carreras sobre que se apoyan los maderos de suelo; de este modo se evitan los movimientos y se favorece el atirantado y unión de las fábricas, y mas aún si se da á los nudillos la forma de doble cola (Fig. 363)



Fig. 363

El mejor sistema para la ventilación es el que se siguió en los siglos XV y XVI, que consiste en dejar los extremos de los maderos volados fuera de la fábrica, pudiendo, en tal caso, convertirse los nudillos en canecillos, y dejando de estar la carrera enrasada con la fabrica al apoyarse sobre ellos. Cabe tambien engatillar las fábricas con elementos de hierro, que, ó se dejan aparentes, ó se ocultan con una escocia, y aun prescindiendo de estos elementos pueden ensamblarse los maderos á cola sin necesidad de clavarlos.. Por último, puede tomarse un término medio, ó sea abrir un pequeño hueco ó cámara en el interior de la fábrica, en el sitio donde van á descansar las cabezas de las vigas, colocando al exterior una chapa calada de ventilación; pero esto es muy costoso y complicado, y solo puede ser aplicable para las grandes vigas maestras, que importa conservar.

Cuando en el entramado horizontal hay que abrir huecos, como por ejemplo, para el paso de chimeneas, sitio del que deben alejarse las maderas, se utilizan unos brochales ab (Fig. 364), piezas cortas que sirven de apoyo á los maderos cojos cd; se ensamblan estos con los brochales, que á

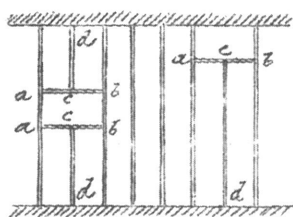
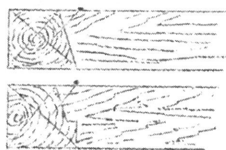
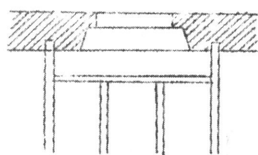


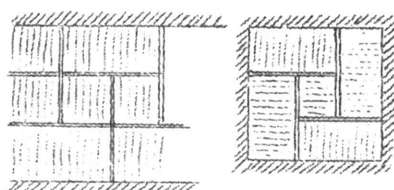
Fig. 364

su vez se ensamblan con los maderos con un corte ligero á espera sencilla ó doble (Fig. 365) cortándolos sobre el sitio para que queden perfectamente ajustados, y se hacen entrar á mazo.


Fig. 365

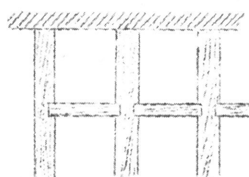
Los embrochalados se aprovechan también para aligerar los huecos de los pisos superiores (Fig. 366), y así mismo permiten emplear piezas de dos tercios de la luz (Fig.s 367 y 368) como en los suelos llamados de Serlio, á costa, como es natural de mayor mano de obra; cita Emy en su Tratado un palacio en Holanda, cuyos suelos estan compuestos de piezas que no llegan á dos metros de longitud, habiendo sido necesaria, como es lógico, la correspondiente cimbra para su armado.

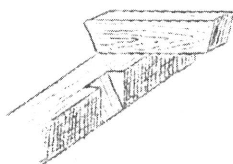

Fig. 366


Fig. 367 Fig. 368

Cuando la planta es de forma irregular, no se podrá, en muchos casos, colocar los maderos en sentido normal al muro, disposición que tiene la ventaja de que atiranta perfectamente y además hace mas fáciles los ensambles á ángulo recto, por lo que siempre debemos aproximarnos á ella cuanto sea posible.

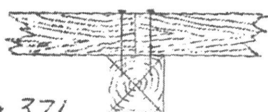
Otro elemento que forma parte de estos suelos es el <u>enzoquetado</u>, medio de unir las vigas entre sí para hacer el piso menos flexible. Deben usarse los <u>zoquetes</u> (Fig. 369) cuando la crujía sea mayor de cuatro ó cinco metros, con ligeros cortes en sus ex-


Fig. 369

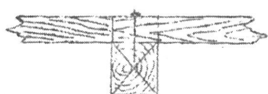

Fig. 370

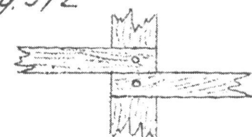
tremos (Fig. 370), muy juntos, y colocándolos en una misma línea, al centro de la crujía, ó en dos, al tercio, según la importancia del caso.

Pasemos á estudiar el suelo compuesto de vigas maestras y viguetas. Aquí puede considerarse cada tramo como un suelo de la primera clase que hemos tratado, y así solo nos ocuparemos: 1.º de la unión de las viguetas del tramo con las vigas maestras; y 2.º del enlace de estas con las fábricas. En cuanto á lo


Fig. 371

primero se colocan las viguetas á tope entre sí y clavadas, correspondiendo la junta con el eje de la viga maestra (Fig. 371). Si al hacerlo así se juzga poca la superficie de asiento de las viguetas se puede contrapearlas

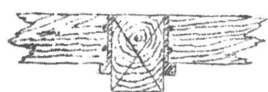

Fig. 372



En este procedimiento hay el inconveniente de que se pierde una parte de la altura aprovechable, lo que puede evitarse embebiendo las cabezas de las viguetas en las vigas maestras con un ensamble á espera en los costados de estas (Fig. 373), teniendo cuidado de no debilitarlas demasiado.


Fig. 373

De aquí el uso de auxiliares de hierro, como los estribos (Fig. 374) que afectan formas variadas.


Fig. 374

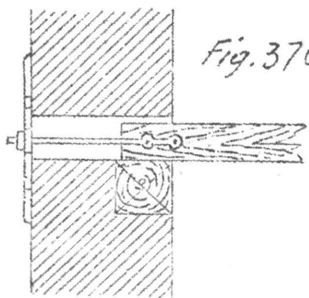
También puede sustituirse los estribos por dos zoquetes de madera, sujetos á la viga maestra con un pasador de hierro (Fig. 375). En las construc-

Fig. 375

trucciones de la Edad Media se encuentra una porción de soluciones con elementos de carpintería (V. las láminas) puesto que entonces no se empleaban los auxiliares metálicos.

Respecto de la unión de las vigas maestras con los muros, los procedimientos no difieren de los ya explicados, pues el caso es idéntico, pero aquí es necesario exajerar las precauciones para la conservación de los maderos. Situadas dichas vigas maestras á tres ó cuatro metros de distancia unas de otras no hace falta la carrera, y para repartir la carga que aquellas transmiten en la necesaria superficie de fábrica basta emplear cojinetes de piedra, adoquines ó pequeños sillares, cuyas dimensiones se calculan según la carga correspondiente; no hay inconveniente en que estos cojinetes sean de madera ó de hierro, y si hay ménsulas, ellas mismas pueden servir para el objeto.

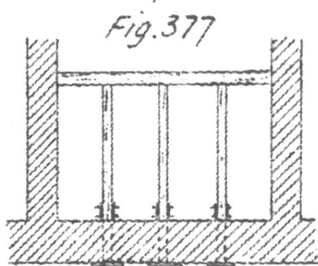
Hay que procurar, como ya se ha dicho, la conservación del extremo de las vigas maestras, y para ello se dejan aireadas por un pequeño espacio, en comunicación con el exterior por medio de una placa calada, según ya se indicó anteriormente; la poca sujeción que se deja á las vigas dispuestas de este modo se compensa de diversas maneras, como por ejemplo, con una doble llanta engatillada y clavada en la maestra (Fig. 376) y fuera, en el paramento exterior, un ancla auxiliar, que puede contribuir á la decoración de la fachada, dándola una forma artísti-


Fig. 376

ca, de escudo, cifra, etc. En los suelos ordinarios podría hacerse lo mismo, pero solo en cada seis ó siete maderos, lo cual permitiría, dado el mayor enlace y sujeción que determina, disminuir algo los espesores de las fábricas.

También pueden hacerse los engatillados paralelamente á los muros de fachada cuando conviene atirantarlos y sujetarlos mas de lo que estan por las carreras que corresponden á las crujías; entonces se hace el tiro normalmente á las vigas maestras (Fig. 377), engatillando en las viguetas, y dandolo resistencia á las vigas que van á trabajar transversalmente por medio de zoquetes con los extremos cortados en forma de cola de milano y atravesados por un pasador en toda su longitud (Fig. 378)

Fig. 377



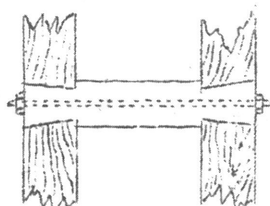


Fig. 378

Otras veces se pone el atirantado obrando sobre dos vigas del suelo, para lo que se emplea un zoquete enlazado con los dos maderos (Fig. 379)

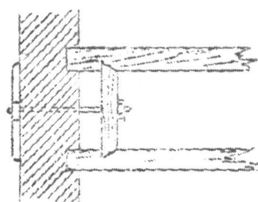


Fig. 379

Respecto á la cuestion de la labra, si los maderos van á quedar cubierto, puede dejarse deshilado solo la cara inferior, que es la que han de asentar las viguetas sobre las maestras; si van al descubierto es preciso labrar tambien las dos caras laterales y las aristas con sus baquetones y chaflanes, no haciendo falta, generalmente labrar la cara superior.

Cuando el forjado va á ser de tabla basta para formar el suelo tener en cuenta que la separación de vigas deberá ser tal que las tablas no se doblen bajo la acción de las cargas que han de soportar. En Madrid, dada la costumbre de cuajar con cascote los huecos que dejan los maderos entre sí, se divide la longitud de la crujía que se trata de cubrir en tramos de siete pies de largo (que es la medida que tenía la antigua tabla de entarimar) y los carpinteros colocan en cada tramo tres ó cuatro maderos de los que en el comercio se expenden con la longitud que la luz de la crujía requiere; y como de colocar tres maderos resultan cuatro espacios por tramo, y de poner cuatro de aquellos quedan cinco de estos, se los designa en la localidad con los nombres de "tramos de tres y cuatro" y "tramos de cuatro y cinco." Las dimensiones de estas vigas no se calculan por lo bien proporcionados que están los marcos, hasta el punto de que un madero que da el largo necesario da tambien la sección conveniente.

Forjados. Puede terminarse el suelo clavando tablas en el canto superior de los maderos del entramado, y á la par que de suelo sirve tambien de techo aunque imperfecto por sus malas condiciones de dejar paso á los sonidos, á la luz y al polvo, ser muy combustible, etc. y por lo tanto solo es aprovechable para almacenes, cobertizos y otras construcciones análogas. Las tablas se ponen en sentido normal á los maderos, pero como quiera que estos no tienen labrada la

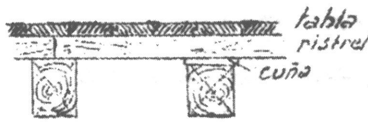


Fig. 380

cara superior, se ponen sobre ellos unos ristreles (Fig. 380), serradizos estrechos de tres á cuatro pulgadas, que permiten igualar el asiento de las tablas con el auxilio de cuñas.

Si la tabla se emplease con todo su ancho, nos expondríamos á alabeos debidos á los pequeños movimientos que pueden producirse en el entramado; y para que esto no suceda, las tablas deben ser estrechas y unirse por sus cantos por medio de rebajos, ranuras y lengüetas y falsas lengüetas (Fig. 381); tanto de estos como de los demas machihembrados que pueden emplearse el mejor es el de ranura y lengüeta al tercio, porque no se astilla fácilmente.



Fig. 381

Las tablas pueden clavarse por encima, dejando aparente la cabeza del clavo ó botándola con el botador, es decir, introduciéndola en la tabla y cerrando el hueco que abre á su paso con un pequeño tapon de madera. Sin embargo, el procedimiento mas conveniente es clavar el clavo de oreja en el fondo de la ranura (Fig. 382), botando algo la cabeza para que no estorbe á la espiga ó lengüeta de la tabla inmediata; de este modo no es posible que el entarimado se levante por efecto de las mermas y alabeos que pudieran ocurrir.

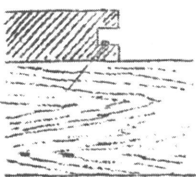
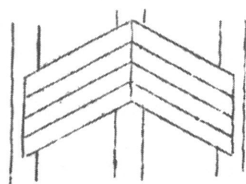


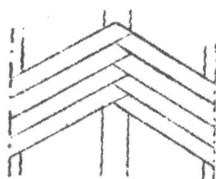
Fig. 382

El ancho de los listones que suelen emplearse es de unos diez ó doce centímetros.

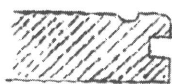
Suele tambien colocarse las tablas oblicuamen-


Fig. 383

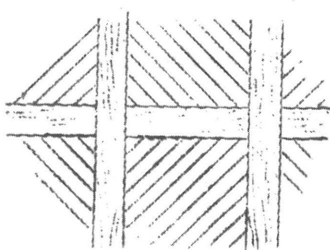
te (Fig. 383), bién sea cortadas á tope oblicuo ó en espina de pez (Fig. 384) lo que produce mayor sujeción y da mejor aspecto al suelo. Los listones en este caso no pasan, ordinariamente, de tres á cuatro piés de longitud y se consigue un entarimado perfecto.


Fig. 384

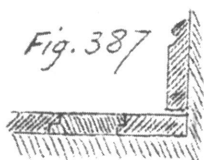
Para hacer menos visibles las diferencias ó mermas de las tablas suelen llevar estas labrado un pequeño baquetón (Fig. 385) próximo á la junta.


Fig. 385

Los ristreles pueden convertirse en verdaderas cadenas, haciéndolos visibles (Fig. 386) y labrados y preparados para machiembrar en ellos las tablas. Claro es que así se aumenta el gasto, tanto por la labra como por las mayores dimensiones que el ristrel necesita, pero en cambio el entarimado se sujeta mucho mas y se hacen menos visibles los movimientos.

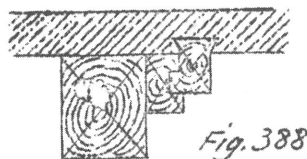

Fig. 386

También pueden colocarse las tablas formando una especie de tablero unido, y entonces es preciso colocar alrededor un zócalo de madera (Fig. 387) que permita los movimientos de ese tablero; este sistema solo puede se usado en países de clima muy igual y en Madrid no debe adoptarse; además resulta muy caro.


Fig. 387

Con el tablero unido no se evitan las variaciones pero estas no son en un punto aislado, y se previenen

como se ha indicado ya. Para disponer dicho entarimado se une á las vigas del entramado un listón lateral que recibe otro con su lengüeta (Fig. 388) y que lleva, además, una cola que corre á través de las tablas; estas se colocan al tope y se cepillan si es preciso. Todos los movimientos que en el tablero se produzcan se manifiestan en el conjunto por deslizamientos bajo el zócalo.


Fig. 388

Otra solución es la de los parquets. Sobre un entarimado ordinario se coloca otro, llamado parquet, formado de piezas, de las que cada una es un bastidor perfectamente ensamblado y cuajado con madera (Fig. 389); presentan esos marcos en sus bordes una ranura que sirve para unir unos á otros por medio de un costadillo (Fig. 390). Cada pieza va luego chapeada en su cara superior con maderas finas, formando figuras geométricas y combinaciones de colores de muy buen efecto y mucha duración. Se clavan estas piezas sobre el primer entarimado colocando los clavos en la ranura oblicuamente ó de oido y acuñando antes si es preciso para el perfecto asiento.

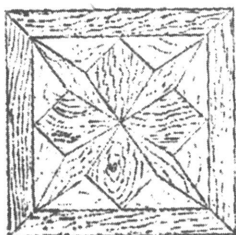
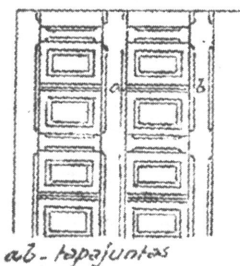

Fig. 389


Fig. 390

Hasta aquí el cerramiento no es completo, pues además de que el entarimado se coloca sobre las vigas del entramado, en el caso de que estas hayan de quedar al descubierto, ya hemos dicho que será preciso labrarlas convenientemente, así como la cara inferior

del entarimado, que entonces convendría fuera doble, y mejor si se colocan algo separados uno de otro, interponiendo entre ellos alguna substancia aisladora, como cascote menudo, arcilla ligera, escoria de cok, etc.; el entarimado inferior solo lleva labrada la cara que es visible entre las vigas, á manera de sófito, y como la sustancia aisladora pudiera pasar á través de las uniones de las tablas se ponen tapajuntas ó listones clavados.

Si las vigas han de quedar libres, son mas indispensables los enzoquetados para evitar movimientos laterales, cuyos zoquetes han de ir labrados y perfilados como las vigas. De este modo no solo se mejora el buen aspecto de la obra sino que se hace mas fácil cubrir los espacios cuadrangulares que quedan, (Fig. 391). Los tapajuntas pueden correrse ó retozarse alrededor del recuadro, lo que es de muy buen efecto.



ab - tapajuntas

Fig. 391

El entarimado es, pues, aunque resulta algo caro, un techo de excelentes condiciones.

Forzando un poco el sistema, pueden sacarse casetones con figuras geométricas, como octogonos, por ejemplo, combinados con pequeños cuadrados ú otros adornos, y se tendran artesonados que se guarnecen con molduras sobrepuestas si parece caro el sacarlas de la misma viga. De esto nos han dejado notables los constructores de la Edad Media, y es muy sensible que al presente se haya viciado tan racional sistema.

En lugar del empleo de tapajuntas, prefieren

algunos duplicar el entarimado inferior, haciéndolos á juntas encontradas para que resulte un completo cerramiento, pudiendo calarse las tablas inferiores y pintando los fondos con colores vivos. Sobre este doble entarimado se pone, como siempre, la capa de alcatifa para aislarle del que forma el piso.

El entarimado superior puede apoyarse directamente sobre las vigas, y entonces el inferior va sostenido por una pequeña moldura á la altura conveniente de la viga. También puede disponerse el entarimado inferior en la forma que indica la fig.ª 393 para dar mas movimiento al sófito.

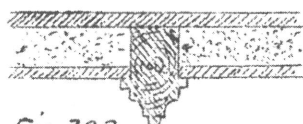

Fig. 392


Fig. 393

Al adoptar una disposición de estas debe cuidarse: 1º de tener en cuenta el clima de la localidad y sus condiciones: en climas fuertes y secos hay que reforzar mas; 2º el precio, tanto de las maderas como de la mano de obra para calcular el coste que representa el sacar baquetones, hacer molduras, etc.

La necesidad de una limpieza continua y de reparar la pintura y el barnizado á mas del coste de esos techos, ha sido la causa de que se generalicen los cielos rasos. Un cielo raso es una superficie plana, horizontal, que sirve de techo, y que es susceptible de ser pintada convenientemente para su decoración, ocultando el entramado.

Este procedimiento ó sistema, tiene una gran ventaja y un gran inconveniente: la primera es

que todo va á quedar oculto, y así no hay que labrar las vigas sino por su cara inferior, y solo lo necesario para recibir el cielo raso; la falta de ventilacion de los elementos que componen el entramado es un inconveniente.

Se forma el cielo raso clavando en la cara inferior de las vigas de suelo listones de tabla ripia entomizados y algo separados entre sí para que por las juntas penetre el yeso del guarnecido y agarre formando clavos como dicen los albañiles. Algunas veces en lugar del enlistonado se pone un encañado ó encañizado (de caña partida) tejido con cuerda de esparto, revistiéndole, como á aquel, con yeso negro para formar una superficie plana horizontal, que generalmente se acompaña con escocias ó molduras corridas. Sobre el guarnecido viene una capa de yeso blanco, ó estuco, etc., segun el uso á que se destina la habitacion.

Tambien puede emplearse tela metálica para sostener el yeso, resultando un conjunto bastante ligero.

Los forjados ordinarios, con los cuales se consigue una incomunicacion mas completa que con los medios anteriores, se reducen á rellenar el entrevigado con una masa que se una bien á la madera y que cierre perfectamente; para esto se suele emplear el cascote ordinario de los derribos con yeso. Las caras laterales de las vigas se preparan, ó amochetando (Fig. 394), ó como hoy se hace, arotandolas y entomizándolas en cruz (Fig. 395) para que se sostenga la masa; esto se emplea del modo siguiente: por la parte inferior se colocan tablones ab á modo de cimbra



Fig. 394

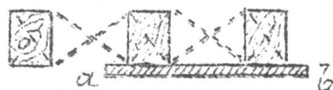


Fig. 395

sostenidos por arriba con cuerdas; primero se pone yeso puro para que quede una superficie regular y agarre el cascote, luego se coloca este y se echa una lechada de yeso que se introduce por los intersticios.

Conviene cuajar por trozos cada entrevigado dando tiempo á que se efectúen los movimientos, si los hay, porque si bien el fraguado con el consiguiente aumento de volumen hace que quede perfectamente sujeto el relleno, también ese aumento pudiera llegar á producir deformaciones en las vigas.

Con este sistema la separación entre dos pisos de un edificio es completa, y se establece tal solidaridad entre las piezas del conjunto que el suelo queda en las mejores condiciones para la uniformidad del trabajo; pero presenta tambien el inconveniente antes dicho de quedar la madera sin ventilación, oculta lateralmente por el forjado, en la parte inferior por el forjado, y arriba por el piso, lo cual produce con frecuencia su descomposición. Debe emplearse madera sana, perfectamente seca y conviene dejar orear el forjado antes de hacer el cielo raso y de poner el solado á fin de evitar que la humedad propia y la adquirida por el forjado, perjudiquen los maderos faltos de ventilación. Otro inconveniente de estos suelos es su mucho peso, lo que explica que en Madrid y demas sitios donde se emplean se coloquen las vigas de piso tan proximas unas á otras.

Se mejora el sistema como se hacía antiguamente, no enrasando en la parte inferior de las vigas con el forjado y formando bovedilla, hecha con un galápago ó pequeña cimbra y amochetando un poco los maderos para sostener aquella, dado que la tomiza no podía

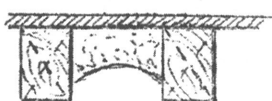


Fig. 396

pasar por debajo de las vigas, que quedaban al descubierto. (Fig. 396) El mal efecto que producían esta bovedillas tan estrechas sobre luces amplias, hizo que el sistema quedase casi abandonado.

Se pueden utilizar para el forjado botes huecos, cilíndricos, de barro cocido, que se fabrican de dimensiones apropiadas á cada marco de la madera, botes que se cojen con yeso ó barro, aligerándose así mucho la carga, pero sin obtener ventaja alguna en cuanto á la ventilación de las vigas. En lugar de los botes suelen emplearse también piezas especiales de barro cocido, que se encuentran en los tejares, de dimensiones proporcionadas á las luces de las bovedillas, habiéndolas de muy variadas formas, ya planas en su parte inferior, ya formando bovedillas con una ó dos piezas, etc., necesitando para su unión muy poco yeso; también se construyen estas piezas con yeso y cascote.

Aún hay otro procedimiento: la bovedilla de ladrillo, para la cual es preciso dejar en los maderos una especie de salmer; estas bovedillas pueden ser, y conviene que sean, de rasilla hueca que tiene poco peso y puede disponerse en una ó dos hojas (Fig. 397), se

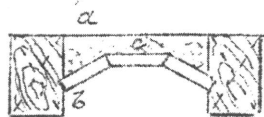


Fig. 397

llenando los senos a b c con cascote menudo, y si se quiere que las vigas no queden al aire, se pintan, como se hace en Cataluña y Valencia, ejecutándose luego el cielo raso, por debajo, de la manera que ya se ha dicho; el hueco que queda sobre este, puede utilizarse, si así conviene, para el paso de tubos de agua, de calefacción, etc. Con esta disposición

se consigue gran ligereza, y las vigas pueden espaciarse de 50 á 60 centímetros. De aquí se sacó partido para construir suelo con tablones del Norte colocados de canto y bien enroquetados, aprovechando para ello maderas generalmente no superiores, aunque nunca de las que han sido desangradas; como estos tablones no se pueden amochetar, á causa de su pequeño grueso, se clavan listones a a (Figura 398) sobre los que descansan las bovedillas, formadas ordinariamente con tres ladrillos ó rasillas huecas. El enroquetado es indispensable dada la poca escuadría de los maderos, y no debe olvidarse la precaución de escojer piezas sin sangrar para las vigas de suelo.

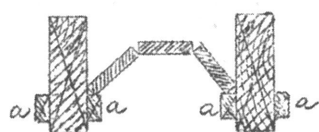


Fig. 398

Armaduras.

Son armazones de madera destinados á sostener la cubierta que proteje al edificio de las influencias atmosféricas. Por esta sola definición se comprende desde luego que la mayor ó menor complicación de una armadura depende esencialísimamente de la clase de cubierta que se adopte.

Se clasifican las armaduras por su forma, cuando la planta es rectangular, en armaduras á un agua y á dos aguas. Las primeras son aquellas en que la cubierta forma un solo plano por el cual escurren las aguas, y en las segundas forma aquellas dos planos inclinados, simétricamente colocados, por lo general, con

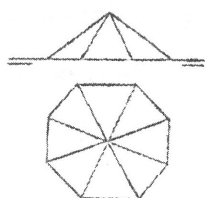
relación á su intersección, que divide las aguas entre los dos faldones.

La terminación de la armadura lateralmente puede hacerse, ó siguiéndola hasta los muros, que en este caso habrán de tener forma apiñonada (Figura 399), ó bien por medio de petos que pueden ser rectos ó en esviaje (Fig. 400)


Fig. 399


Fig. 400

Si la planta no es un cuadrilátero, sino un polígono cualquiera, se obtiene la armadura de pabellon (Fig. 401), compuesta de faldones que se reunen en un alma ó nabo central, que puede estar formado por un poste. Hay otras armaduras sobre planta poligonal, como los chapiteles ó flechas, que no son mas que armaduras de pabellon, en que se aumenta la relación entre su altura y el diámetro de la circunferencia capaz de circunscribir la base.


Fig. 401

Vienen luego otras formas curvas, que comprenden las armaduras cilíndricas, las cónicas y las cúpulas.

Por razón de su composición se clasifican las armaduras en elementales y compuestas; si la luz del espacio que se va á cubrir es pequeña, será suficiente, por lo general, establecer formas bastante próximas y colocar sobre ellas directamente la cubierta. Por el contrario, si la luz aumenta, se empieza por dividir el espacio en tramos por medio de cuchillos, cubriéndose luego cada tramo como una armadura

elemental, siendo esta clasificación completamente análoga á la que se hizo al tratar de los suelos.

Finalmente, por razón del material empleado cabe la división en armaduras de madera exclusivamente y armaduras mixtas.

I- Armaduras elementales.

Son de mucha aplicación para nosotros, puesto que por lo general, los espacios que hay que cubrir son reducidos, gracias á la división que se hace en los edificios por medio de los muros de traviesa, y puede decirse que las armaduras compuestas quedan reservadas para los casos en que haya de cubrirse una nave de mucha luz ó un gran salón.

La primera armadura elemental que se nos presenta es la llamada á la molinera: supongamos que se trata de cubrir el espacio rectangular abcd (Fig. 402); si según los lados ab y cd elevamos dos muros terminados en su parte superior por una línea inclinada, fácilmente podremos apoyar en uno y otro muro piezas horizontales que recibirán la tablazon y la cubierta, quedando así constituida la armadura á la molinera á un agua, aplicable á casos muy sencillos, como por ejemplo, una casilla; pero en construcciones mas complicadas hay que tomar algunas precauciones, tales como la de asentar los pares sobre medillos, que si tienen un pequeño vuelo, pre-

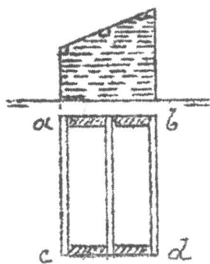


Fig. 402

den servir para disminuir la longitud de aquellos.

Esta clase de armaduras es susceptible de aplicarse en cubiertas á dos aguas, según se hizo en la Edad Media, y aún hoy se hace en determinados casos. Supongamos, al efecto, que se trata de cubrir una nave; todo queda reducido á voltear de trecho en trecho arcos fajones trasdosados en pendiente, sobre los cuales se asientan los canecillos y los pares como antes se ha dicho. (Fig. 403) Así queda perfectamente resuelto el problema de cubrir una nave sin los inconvenientes de los empujes peculiares de las bóvedas; y si los pares se dejan al descubierto y bien enzoquetados, puede darse á la obra muy buen aspecto en su parte interior con un pequeño gasto, á lo menos relativamente á lo que hubiera costado. Este sistema se ha empleado en la Capilla Real de Barcelona y en algunas iglesias de Francia y Alemania.

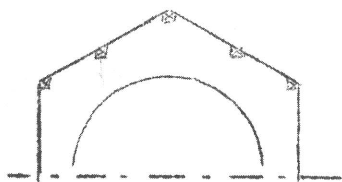


Fig. 403

La segunda armadura elemental que tenemos que estudiar es la llamada de par y picadero, aplicable, en particular, á las cubiertas á un agua. Estas armaduras se construyen del siguiente modo: si el espacio que se va á cubrir es el abcd (Fig. 404) se elevan en los lados ad y bd muros terminados horizontalmente por su parte superior, pero dando mas elevación al segundo que al primero, con objeto de obtener la necesaria inclinación de la armadura, y supongamos que ad sea el muro de fachada y bc tal primer traviesa, que puede ser entramada ó nó. Sobre

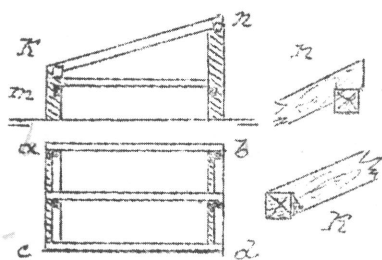


Fig. 404

ad se establece una carrera convenientemente clavada sobre nudillos, y una cosa análoga se hace en bc, á la altura que corresponda, si esta traviesa no es entramada, porque de serlo se puede desde luego contar con que, al hacer el entramado se habrá dispuesto también la carrera en el sitio oportuno. Sobre la carrera m vienen á apoyarse unas piezas horizontales llamadas tirantes, y sobre estos, y entallado, se coloca una segunda carrera, paralela á la primera, designada en la figura por la letra K, y que recibe el nombre de estribo; de este modo ya se puede contar con la carrera m y el estribo K para asentar los pares, lo que se hace facilmente: en n se establece un corte á picadero y en K uno á barbilla. Para justificar el estribo hemos de observar que el empleo de los tirantes es muy conveniente; pues á mas de otras ventajas, proporciona un techo al último piso; pero á causa de la teja es preciso colocar los pares á distancias relativamente muy pequeñas, por ejemplo, en tramos de 3 y 4, ó de 4 y 5, y es inútil establecer tantos tirantes como pares; de aquí la conveniencia de que el par no ensamble directamente en el tirante y sí en la pieza intermedia K. De este modo, y teniendo en cuenta los cortes dados á los pares, resulta que no hay empujé á no ser en caso de deformación.

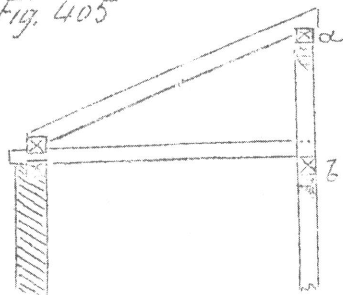


Fig. 405

Queda por estudiar el modo de sostener la carrera a (Fig. 405) que corona la pared mas elevada. Al hacer el entramado se habrá dispuesto la carrera b á la altura que corresponde la línea del

alero en el muro exterior, pero como es necesario llegar á ganar la altura del caballete, sobre la carrera b se clavan piés derechos enanos ó virotillos, y la pieza se sujeta merced á espigas de que los primeros van provistos y que entran en botoneras practicadas en la segunda. Aún se toma otra precaución para dar mayor solidaridad al conjunto, que es la de que algunos de esos piés derechos, uno por cada tres, generalmente, formen una sola pieza con los del piso inferior, haciendo en ellos una entalladura para dejar paso á la carrera.

Si se quiere aplicar la armadura de par y picadero para cubrir á dos aguas queda la cuestión á construir cada uno de los faldones como se ha descrito.

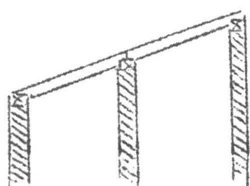


Fig. 406

También puede utilizarse el sistema para cubrir varias crujias (Fig. 406) de modo que todo el conjunto forme una sola armadura á un agua. Para ello se cubre la primer crujía en la forma que hemos dicho, y lo mismo la segunda tomando para estribo la pieza donde asientan los pares con el corte á picadero de la primera.

Arriostrado. Esta armadura exige el arriostrado, cuyo objeto, en general, es convertir los polígonos deformables en otros indeformables.

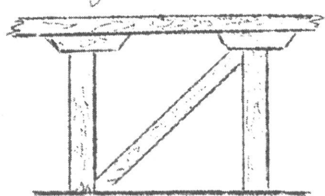


Fig. 407

Se empieza para ello por triangular los espacios que los piés derechos dejan entre sí (Fig. 407), pudiendo cambiarse el sentido de las riostras y no establecerlas en todos los espacios, puesto que si dos de estos rectángulos son indeformables el intermedio

también lo será. Por último se arriostran los piés derechos á los tirantes por medio de piezas oblícuas m n (Fig. 408) que forman un triángulo indeformable con el pié derecho y el tirante.

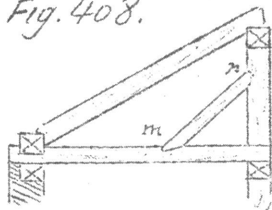
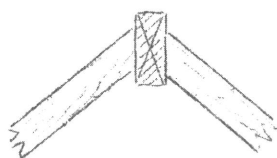


Fig. 408.

Armadura de par é hilera. Se emplea cuando hay que cubrir á dos aguas, como ocurre, por ejemplo, en el caso de una crujía que da á un patio. Se compone esta armadura, en primer lugar, de la hilera, que es un tablón puesto de canto, colocado según el caballete de la armadura (Fig. 409), y en segundo lugar, de los pares, que se unen á la hilera por un corte á pluma.


Fig. 409

Es evidente que en este sistema el tirante es indispensable, y para establecerle se sigue en un todo el mismo procedimiento que se indicó para las armaduras de par y picadero, haciéndose, como allí, la unión del par al estribo por medio de un corte á barbilla.

La forma que hemos obtenido en la armadura de par é hilera es invariable en tanto que las cargas sean simétricas; pero no siendo así, habrá, naturalmente, una cierta diferencia entre las cargas que actúan en uno y otro faldón, y descomponiendo esa diferencia en dos fuerzas tendremos que una de ellas, la a, (Fig. 410) no ofrece peligro, pero en cambio la b puede dar lugar á que se abra el par. Por esta razón hay que tomar algunas precauciones, como la de procurar, en primer término, que el par no dé ninguna holgura, para lo cual se corta al pié de obra, sosteniendo

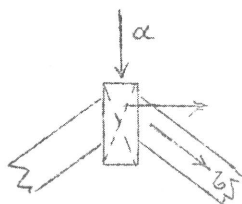


Fig. 410

provisionalmente la hilera en su posición y tomando la medida de la longitud que resulte para el par. Además se procura cuando se coloca la teja hacerlo á la vez y simétricamente en los dos faldones, para lo que se emplean dos cuadrillas de tejadores.

Arriostrado. En la armadura de par é hilera puede establecerse el arriostrado de dos modos: 1º, según el plano de la pendiente (Fig. 411), pero esto puede dificultar la colocación de la teja y exije riostras muy largas; 2º en el mismo plano vertical de la hilera (Fig. 412), que es el sistema empleado por los carpinteros de armar.

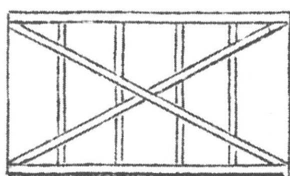


Fig. 411

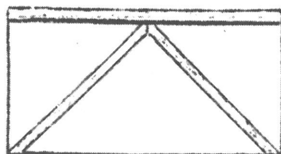


Fig. 412

En la armadura de que nos ocupamos, el arriostrado es muy importante por la facilidad de deformaciones que existe y ya hemos indicado, efecto de diferencias entre las cargas, siendo hasta la presión del viento causa bastante para producirlas.

Las armaduras elementales fueron muy empleadas en la Edad Media, por disponerse de maderas de pequeñas dimensiones, sin que se tuviese en cuenta la importancia de la mano de obra. Por otra parte, estas armaduras distribuyen la carga sobre los muros de un modo mas uniforme que las armaduras compuestas, en las que los esfuerzos se aglomeran necesariamente en los puntos de asiento de los cuchillos, y en la Edad Media lo que mas se buscaba era evitar grandes empujes concentrados, condi-

ción exigida por la estructura de las construcciones de aquella época.

Como simplificación se siguió el sistema de no armar todos los pares, sino uno solamente por cada cinco ó seis, con sus correspondientes estribos, tirantes, etc., y los cuatro ó cinco pares intermedios iban simplemente provistos de una tirantilla; para resolver su empuje, en lugar de una carrera para asentar los pares, establecieronse dos, y entre cada dos cuchillos armados se colocó una série de piezas que evitaba toda flexión y movimiento de las carreras (Fig. 413) Este procedimiento resultaría al presente muy caro, y solo tendría aplicación en el caso de que se quisieran obtener las cargas repartidas.

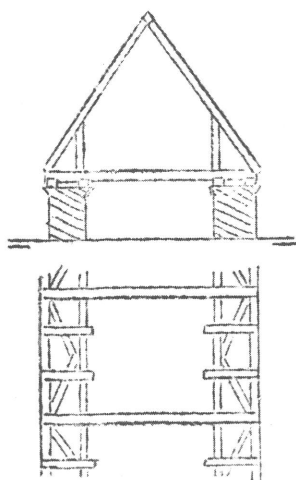
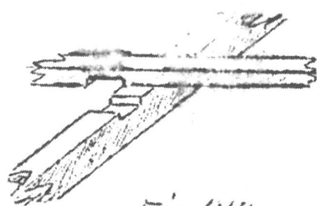


Fig. 413

Otra razón tuviéron tambien los constructores antiguos para no emplear las armaduras de cuchillo; en efecto, recordando lo que dijimos al tratar de los apoyos, veremos la conveniencia de disminuir el espesor del muro que carga sobre el arco formero, y de aquí el empleo de voladizos sucesivos que servían para reducir el espesor grande del trifolium al menor de dicho arco formero; por consiguiente, si hubiesen empleado armaduras de forma ó cuchillo hubiéra sido necesario, para no dejar volado el punto de unión del par con el tirante, que es un punto debil, emplear zapatones.

Puede seguirse otro sistema encaminado al mis-


Fig. 414

mo fin, que es embeber la correa en el grueso del par, y aún á veces el contrapar en el espesor de la primera (Fig. 414), y aunque todo esto aumenta el coste por la mucha mano de obra que requiere, resuelve en cambio el problema de la disminución del apoyo.

Armaduras de forma ó cuchillo.

El estudio de estas armaduras comprende dos partes: 1.ª Estudio de los cuchillos; 2.ª Estudio de los entramados de los planos de cubierta.

I. – Formas ó cuchillos

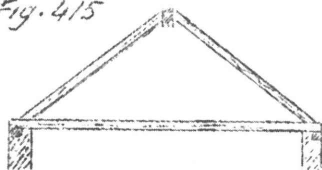
Se clasifican por la forma de las piezas que los componen y por su disposición; así tenemos: 1.º Cuchillos de piezas rectas, y 2.º Cuchillos de piezas curvas; dentro de cada uno de estos dos grupos hay que distinguir dos clases: con tirante y sin él. Aún hay otra clase intermedia, que comprende aquellos cuchillos que tienen tirante, pero que no está situado al pié de los pares, sino mas bajo, y enlazado con aquellos por medio de otras piezas; estas son las armaduras llamadas de par y tirante bajo.

1.º Armaduras compuestas de piezas rectas con tirante.

Las condiciones á que ha de satisfacer una forma ó cuchillo, son: 1.º invariabilidad de forma; 2.º que todas las piezas trabajen, en lo posible, en la dirección de sus ejes; y 3.º que sea económica.

La formación de un cuchillo depende de la luz de la armadura y del número de correas que vayan á disponerse, lo que á su vez es consecuencia de la disposición y clase de cubierta adoptada.

Supongamos el caso mas sencillo, cuando la luz sea pequeña: entonces el cuchillo quedará formado con dos pares y un tirante, lo que constituye una figura indeformable (Fig. 415). Es claro que aquí no habrá mas correas que la del caballete ó hilera y las superiores apoyadas sobre el muro. La economía depende de la determinación exacta de la sección de las piezas, y aquí no cabe resolver ningún otro problema económico.


Fig. 415

Vamos á ahora á determinar los ensambles, que estarán subordinados á la posición relativa de las piezas y á los esfuerzos que por ellas se van á trasmitir.

1.º Ensamble del par con el tirante. Por el par se trasmite un esfuerzo de compresión que se traduce en tensión en el tirante, y, por consiguiente, lo que hay que procurar es impedir el resbalamiento del par sobre dicho tirante, para lo cual se emplea el ensamble

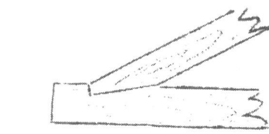
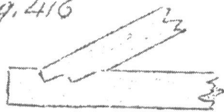


Fig. 416



á simple ó doble espera (Fig. 416) Respecto al trazado de este ensamble, pretenden algunos que ab sea normal al eje, otros que sea la bisectriz del ángulo que forman el par y el tirante, y otros, en fin, que sea normal á la resultante de los esfuerzos, y esto es lo mas acertado.

En el ensamble de que nos ocupamos es preciso estudiar tambien una cuestión mecánica, porque debido al esfuerzo que el par trasmite, hay tendencia

Fig. 417



á hacer saltar un trozo de tirante, representado en la figura 417 por el trapecio abcd. Por esta razon hay que determinar la distancia del ensamble al estremo del tirante, de modo que esa parte abcd tenga la debida resistencia, para lo que se aumenta la distancia ab cuanto sea preciso, y con

Fig. 418



objeto de que sea mayor el número de fibras sometidas á trabajo, suele hacerse doble espera (Fig. 418)

Á pesar de esta disposición, puede separarse el par del tirante lateralmente, como sucede cuando la armadura queda al descubierto y está sometida á la accion del viento; en este caso es conveniente poner al tercio una espiga (Fig. 419). Pero puede ser tal la disposición que, no habiendo sitio en el muro haya que retirar el punto de union del par con el tirante, desarrollandose un esfuerzo cortante; y para reforzar ese punto se establece un zapaton embra-

Fig. 419

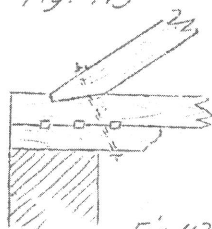
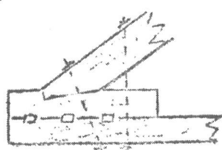
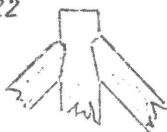


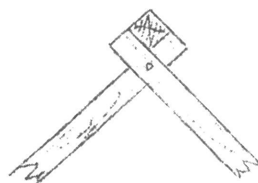
Fig. 420

do con clavijas ó dientes, (Fig. 420), ó tambien puede adoptarse otro procedimiento, que el suplementar ó reforzar el tirante, ya sea por la parte superior (Fig. 421) ya lateralmente, poniendo, solo donde sea necesario, dos piezas endentadas y convenientemente enlazadas. Aquí es oportuno el empleo de auxiliares metálicos, como pernos, abrazaderas, bragas, etc. que en las grandes armaduras son indispensables para reforzar el ensamble del par con el tirante (V. las láminas)

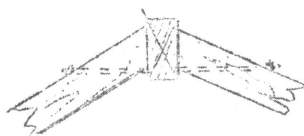

Fig. 421

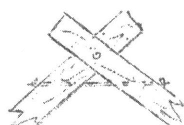
2º. Enlace de los pares. Puede adoptarse el mismo ensamble de la armadura de par é hilera, teniendo en cuenta lo dicho respecto de la simetría de las cargas. Para facilitar el ensamble de los pares es muy conveniente emplear un pendolón ó cabeza de pendolón, (Fig. 422) en el que los pares ensamblan á espera. Pueden tambien ensamblarse aquellos con un corte de tijera, lo que permite disponer la hilera en el ángulo superior de los que forman los pares, (Fig. 423), ensamble que se refuerza con un parador, cuyo empleo es tambien conveniente en el ensamble de par é hilera, toda vez que es un medio de prevenir los efectos de la falta de simetría de las cargas si llegara á haberla.

Fig. 422



Fig. 423

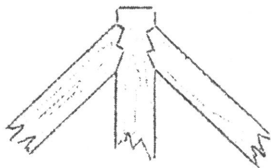
En el caso de haber hilera la armadura no admite mas refuerzo que el parador ó cuadral (Fig. 424)


Fig. 424

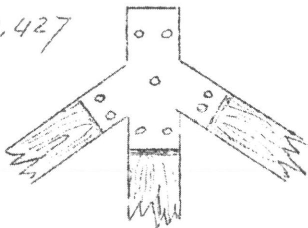

Fig. 425

que también debe emplearse en el caso de no haber hilera, no porque lo necesite la armadura, sino por si las cargas no fueren simétricas (Fig. 425)

Todas esta cuestiones se resuelven más fácilmente cuando hay pendolón ó cabeza de él; se emplea este elemento cuando el peso del tirante lo requiere, pero cuando no es así, puede conservarse, como ya hemos dicho, solo la parte superior con objeto de facilitar la unión de los pares, siendo el ensamble de cada uno de estos con el pendolón igual en todo al explicado para la unión del par con el tirante, suponiendo que se le ha dado un cuarto de giro, y empleándose la espera sencilla ó doble (Fig. 426).


Fig. 426

La unión puede hacerse entre pares y pendolón, ó cabeza de él, sin necesidad de hacer uso de cortes especiales, sino simplemente por medio de bolsones, que son unas piezas de hierro provistas de dos ramas (Fig. 427) para coger y sujetar los pares y enlazarlos así con el pendolón.


Fig. 427

Supongamos ahora que la luz de la armadura va siendo mayor, es decir, que el problema de que nos ocupamos presenta algunas complicaciones. Es evidente que entonces no bastarán las tres correas á que nos hemos referido hasta aquí, y al aumentar el número de estas es forzoso añadir nuevos elementos á la armadura; estos pueden ser ó una puente ó un pendolón, haciéndose uso de este ó de aquella según las necesidades: de la

puente para reforzar el par, del pendolón para reforzar el tirante, y puede haber sistemas combinados.

Empleo de la puente. Es esta una pieza horizontal que enlaza los pares á conveniente altura, que debe ser la misma á que se hallan las correas intermedias que suponemos se han establecido, de modo que el diagrama resultante para la armadura será entonces el indicado en la figura 428, en la que la pieza bc representa la puente. Del solo examen de dicha figura se deduce que no es invariable de forma en tanto las cargas no sean simétricas, toda vez que el polígono bcde es deformable. En efecto, descompongamos las fuerzas que

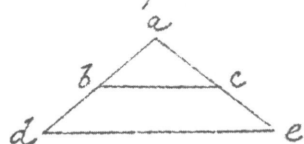
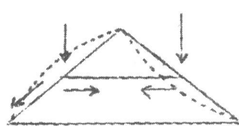
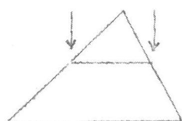


Fig.428

actúan en b y en c en dos, (Fig. 429), una en la dirección del par, y otra en la de la puente; si dichas dos fuerzas no son iguales, quedarán actuando en la dirección de la puente dos fuerzas dirijidas en sentido contrario y de distinta densidad, lo que dará lugar á la deformación tal como se indica en la figura. Para que este movimiento pudiese tener lugar hay que contar con que las líneas de resistencia que antes seguían la dirección de los ejes de las piezas no se salgan de la dirección de estas.


Fig.429

Para hacer invariable la armadura se puede dibujar el cuchillo disimétrico (Fig. 430) haciendo que el par del lado donde actúa la mayor fuerza se aproxime mas á la vertical para que así resulten las dos com-


Fig. 430

ponentes horizontales iguales. Esto, que es una solución, no puede ser, sin embargo, muy aceptable, todo que no es susceptible de aplicación sino en el caso en que la falta de simetría de las cargas sea permanente, pero no es posible prever las acciones transitorias, como el empuje del viento, el peso de la nieve, etc. Para prevenir estos casos lo que se puede hacer es, puesto que todo depende de ser deformable el polígono bcde (Fig. 431), darle condiciones de invariabilidad, y para ello bastará poner, conservando la forma simétrica, una pieza según una de las diagonales; si la colocamos según cd y la mayor fuerza actúa en c, hará el oficio de tornapunta y deberá ser de madera; por el contrario, si conservando la misma posición, la mayor fuerza actúa en b, trabajará por tensión y deberá ser una varilla; lo mas conveniente es poner dos varillas de hierro siguiendo las diagonales, y así, según que la mayor fuerza actúe en b ó en c, trabajará una ú otra por tensión, y de este modo se habrán previsto todos los casos que puedan presentarse.

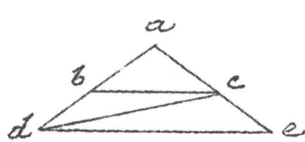


Fig. 431

Para terminar esta cuestión, añadiremos que aun hay otro medio de obtener la invariabilidad de forma de la armadura que estudiamos. Consiste sencillamente en poner dos cuadrales ab y cd (Fig. 432) que sirven para unir la puente á los pares.

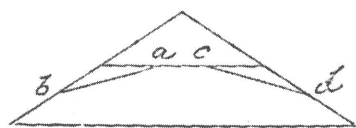
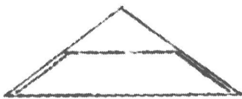


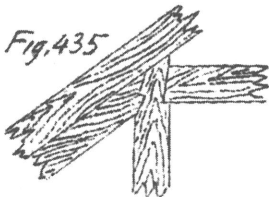
Fig. 432

La altura á que se coloca la puente depende de la posición de las correas, del espacio utilizable que se pue-

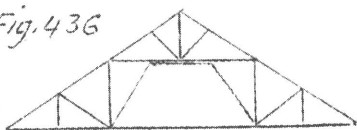
ra tener, y también del mayor ó menor trabajo á que se desée someter los ensambles. Si se coloca muy alta quedarán en la parte inferior grandes porciones de los pares sin puntos de apoyo intermedios, inconveniente que se salva con el empleo de falsos pendolones ó tornapuntas (Fig. 433), y también por medio de los llamados sotapares (Fig. 434) y aún pueden combinarse aquellos con estos, en cuyo caso se ensamblan en los primeros, ó sean en los falsos pendolones, la puente y el sotapar como se indica en la figura 435, con cortes á espera. Podría también disponerse los falsos pendolones á modo de cepo, cogiendo las demás piezas.


Fig. 433


Fig. 434


Fig. 435

Algunas veces no es posible conseguir que cada correa tenga su punto de apoyo, y aún cuando esto en la madera no importa tanto como si se tratase del hierro, en cuyo caso es esencial que no haya mas que tensiones y compresiones, puede evitarse aumentando los puntos de apoyo mediante la adición de piezas, tales como falsos pendolones, sopandas, tornapuntas, etc., (Fig. 436), complicándose cada vez mas la armadura á medida que se aumenta la luz.

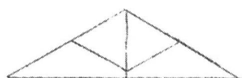

Fig. 436

Empleo del pendolón. — El pendolon es una pieza central, colocada verticalmente, y que une el punto de encuentro de los pares con el medio del tirante. El tipo primitivo de una armadura con

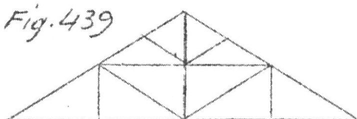

Fig. 437

pendolón está constituido por dos pares, un tirante y un pendolon (Figura 437). Es evidente que la figura es invariable de forma, y lo único que puede temerse es que haya presiones desiguales en la parte superior, pero esto queda subsanado con el empleo de auxiliares metálicos. Un solo inconveniente presenta el empleo del pendolon, y es que interrumpe el espacio que en muchas ocasiones conviene dejar diáfano para su aprovechamiento.

Si hay necesidad de establecer mas de tres correas se pueden poner dos tornapunta que se apoyen en el pendolón en lugar de hacerlo en el tirante (Fig. 438). Lo mismo que anteriormente pueden emplearse aquí, complicandose mas la armadura, sotapares, falsos pendolones, tornapuntas, etc.


Fig. 438

Combinación de ambos sistemas – La combinación de los dos sistemas da por resultado obtener armaduras adaptables á todas las luces.


Fig. 439

La puente con el pendolón se pueden combinar convenientemente agregando tornapuntas, sotapares y todas aquellas piezas que sean necesarias (Fig. 439)

Como ejemplo de esto puede citarse la armadura de una sala de armas de Moscou, de 45 metros de luz, construida por Bethancourt; tiene una serie de puentes, pendolones, falsos pendolones y tornapuntas que arrancan del pie de aquellos. Para evitar los maderos de sección muy grande se em-

plearan sotapares, á veces hasta en número de tres. Lo mismo se hizo con las puentes que quedan así formadas con dos ó tres elementos. Para evitar la compenetración de unas piezas en otras por efecto de la presión se interpusieron láminas de palastro ó de zinc, y además, en aquellos puntos donde había grandes esfuerzos, se sustituyó la cabeza del pendolón por una pieza de hierro colado provista de las cajas necesarias para recibir las demas piezas.

Armaduras de par y tirante bajo.

Ya dijimos que estas armaduras formaban una clase intermedia entre las que llevan tirante y las que no le tienen; en ellas no se enlazan directamente los pares con el tirante, que se encuentra á cierta distancia por debajo de los pies de aquellos (Fig. 440) siendo el objeto de esta disposición agrandar el espacio utilizable. Al exterior se presenta un pequeño muro de ático en el cual se puede abrir huecos para iluminar ese espacio.



Fig. 440

Es evidente que esta clase de formas no es invariable, y se hace necesario prevenir todo movimiento lo que se consigue poniendo una tornapunta y un pequeño brochal (Fig. 441) así como una tirantilla en la parte superior.

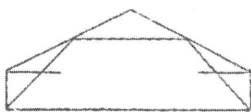


Fig. 441

Para ver el efecto de la tornapunta ab (Fig. 442) observemos que en b habrá dos componentes, haya ó no correa, y par-

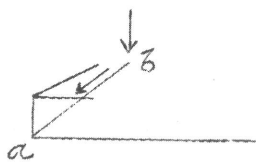


Fig. 442

te del esfuerzo se trasmitirá por ab al tirante, mientras que el otro esfuerzo vendrá á componerse con la componente del par en el vértice; si son iguales solo habrá compresión, pero si son desiguales pueden ocurrir dos cosas: que el mayor esfuerzo sea el dirigido de abajo á arriba, ó al contrario; debe evitarse esto, y mas particularmente lo segundo, y se consigue variando cuanto sea necesario la inclinación de la tornapunta.

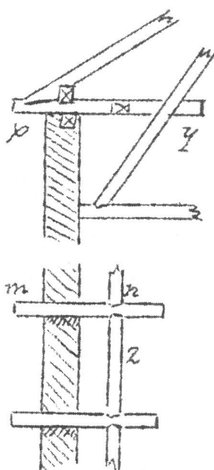


Fig. 443

En cuanto al empuje que se produzca sobre la carrera del ático, se procura que sea nulo ó poco importante dando el corte de picadero, y aun mejor empleando la pieza horizontal xy (Fig. 443); esto solo se puede hacer cada cinco ó seis pares. De uno á otro se pone la pieza z á modo de brochal, y á ellas vienen á ensamblarse las piezas análogas á la xy en los demás pares; pero estas piezas serán solo de la longitud mn, toda vez que, como hemos dicho, á la tornapunta solo se enlazarán una por cada cinco ó seis, y estas mas largas se hacen dobles para que cojan encepando la tornapunta.

Como los áticos no pueden ser de mucho espesor, se suelen hacer de entramado sepentado, y para evitar las deformaciones que pudieran ocurrir, hasta que se coloquen jabalcones sujetando las carreras.

Armaduras sin tirante.

El tirante es muy útil, pero á veces estorba para el aprovechamiento de los espacios. Al ocuparnos de las armaduras que carecen de este elemento debemos, ante todo, sentar algunos principios, y son: que no debe confundirse el empuje con sus efectos; no importa que la armadura tenga empuje cuando sus efectos son pequeños; el empuje se traduce en el desplazamiento de los pies de los pares; si este desplazamiento es pequeño se puede salvar dando libertad de movimientos, y el empuje desaparecerá en cuanto el desplazamiento se haya verificado, y finalmente: los efectos del empuje serán tanto menores cuanto mas rígida sea la forma, y la intensidad del empuje variará con la luz de la armadura y con las cargas.

En general se puede decir que no es conveniente la supresión del tirante, que anula los empujes; únicamente debe prescindirse de él, en el caso de tener que alojar una bóveda, ó bien para utilizar el espacio en viviendas.

Hay que tener en cuenta que el rozamiento de los apoyos es mayor que el empuje, y esto da lugar á que el deslizamiento de los pies de los pares para desplazarse no pueda tener lugar, y el empuje entonces se traduce en desplomes de los muros; lo que debe hacerse es facilitar aquel movimiento por medio de rodillos, ó inclinando la platina, etc.

Al suprimir el tirante deben tomarse las dos precauciones siguientes: 1.ª asegurar los ángulos, y 2.ª hacer la armadura lo más rígida que sea posible. La forma de las armaduras será análoga á las estudiadas antes, asegurando el vértice con tirantillas y pendolón, y los ángulos inferiores con tornapuntas ó juegos de tornapuntas; de este modo se forma la armadura de Ardant (Fig. 444), en la que todas las piezas se enlazan entre sí, formando un conjunto rígido, que aún lo es más por la adición de las piezas aa, especie de manguetas que se acoplan á cepo; sin embargo, aunque se consigue la invariabilidad de los ángulos, la rigidez no es completa. Este sistema tiene diversas variantes. (Véanse las láminas).

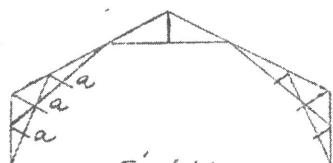
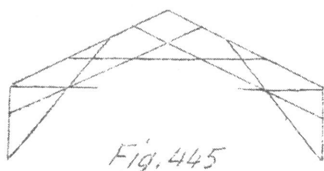
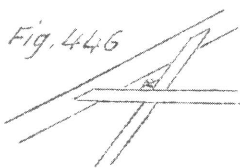


Fig. 444

Armadura De Moller. Cada par constituye una especie de viga armada; se establecen sotapares, puentes y tirantillas (Fig. 445). La cuestión de rigidez está mejor resuelta aquí, y la triangulación asegura los ángulos. Cuando el número de correas es grande puede adoptarse otra disposición, haciendo que los tornapuntas no vengan á un mismo punto del par, y queda de este modo un triángulo (Fig. 446) que permite poner una correa que puede servir para arriostrar.


Fig. 445


Fig. 446

También se hace otra cosa, que es cuajar todos

los compartimentos con tablas engargoladas ó machiembradas, formándose un conjunto mucho mas rígido; las tablas pueden decorarse, y esto proporciona un motivo mas de ornamentación. En determinadas ocasiones los puntos de apoyo pueden ser reforzados en su parte inferior, y entonces ya puede establecerse la armadura en bastante buenas condiciones; como ejemplo tenemos la construida para cubrir el gimnasio de un colegio, en la que hay una especie de pórtico que sirve de contrarresto (V. las láminas)

Si la luz de la armadura no excede de 12 ó 14 metros puede sustituirse el tirante por piezas oblicuas que vayan desde el pié de cada par á un punto conveniente del otro y luego se colocan las tornapuntas que sean necesarias (Fig. 447). Esta disposición puede adoptarse perfectamente en el caso de una iglesia de pequeñas dimensiones.


Fig. 447

Supongamos ahora que se trata de cubrir la nave de una iglesia con una armadura á dos aguas; para evitar el empleo de grandes espesores y de contrafuertes en el exterior, se puede emplear un cuchillo analogo al indicado en la figura 448, en el cual quedan á los lados las palomillas ab, con las que puede construirse una especie de bóveda, dejando al descubierto la parte aca, susceptible de ser decorada con artesonado. Resulta así una armadura muy sen-

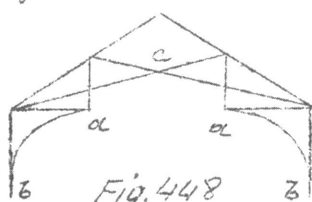


Fig. 448

cilla y que se presta perfectamente á la decoración (V. las láminas). Es preciso, sin embargo, un ligero tirante de hierro, ó en su defecto un contrapuente, ligero también, que puede aprovecharse en la ornamentación, y que tiene una importancia mucho menor que la que tendrían los contrarrestos de una bóveda.

Armaduras de piezas curvas.

1. Con tirante.

En primer lugar hay que estudiar la función que desempeñan en un cuchillo las piezas curvas. Hay una razón casi esclusiva que las motiva: el dar buen aspecto á la armadura por la parte inferior, sobre todo cuando se concede poca importancia al tirante.

En las construcciones de la Edad Media se encuentran ejemplos de estas armaduras dignos de ser imitados; se forman con cuchillos y de uno á otro se pone un entablillado de madera convenientemente entallado dejando en la parte superior de cada cuchillo un tirante de poca importancia y algo decorado (Fig. 449) El entablillado es doble para impedir que pasen la luz y el polvo, y cada dos tablas están machiembradas con espigas en forma de trapecio (Fig. 450).

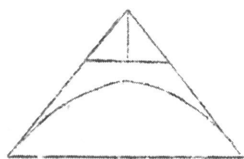


Fig. 449



Fig. 450

Al formar las piezas curvas parte de un cuchillo algo se conseguía en favor de la resistencia, toda vez que servían de refuerzos; pero en lo que mas se gana es en el aspecto, pues siempre es mejor el que presenta esta clase de armaduras que el de un cielo raso.

También pueden hacerse dichas armaduras con lunetos, y aún como bóvedas de crucería. En las provincias Vascongadas hay ejemplos de esto, y en ellos se observan los nervios salientes (V. las láminas)

II. Sin tirante

Empecemos por las mas modernas, entre las que estan las de Filiberto Delorme, que fué el que hizo mas práctico el empleo de tales armaduras.

Veamos el modo de constituir una de las cerchas ó cuchillos; se empieza por marcar sobre la cara mayor de una tabla un trozo de cercha, para lo cual hay que valerse de una plantilla conveniente (Fig. 451) Una vez

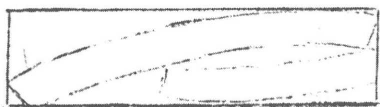


Fig. 451

que se han marcado y cortado varios trozos se va armando la cercha, para lo cual se la da dos ó mas espesores de tabla, cuidando, como es natural, de alternar las juntas (Fig. 452) Formadas así las cerchas se disponen á 60 centímetros próximamente de distancia unas de otras, lo mismo que si se tratara de una armadura elemental y se establecen según la sección recta de la nave que

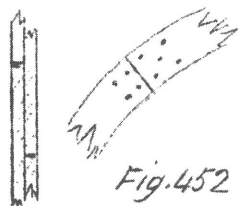
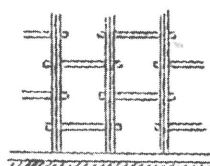
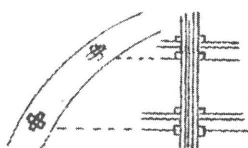


Fig. 452

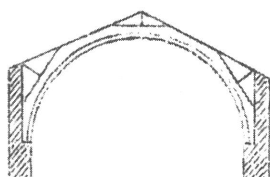

Fig. 453

se quiere cubrir: es decir, en planos verticales. Para mantenerlas en esta posición se asienta sobre el muro una carrera y á ella vienen á enlazarse las cerchas por medio de una espiga (Fig. 453). Quedan así las cerchas fijas por la parte inferior, pero como esto no basta, empleó Delorme unas correas pasantes ó teleras que cojan dos cerchas, alternándose la disposición de dichas teleras de manera que resultase un conjunto sólido á la vez que sencillo (Fig. 454) La unión de la cercha con la telera se consigue por medio de dos cuñas que atraviesan la segunda y cojen lateralmente la primera (Fig. 455)


Fig. 454


Fig. 455

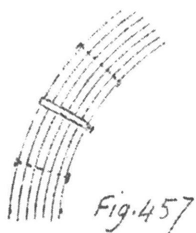
No cabe duda del buen aspecto que de este modo ha de quedar por la parte interior, pero al exterior no sucede lo mismo porque la forma curva no se presta bien á recibir la cubierta; este inconveniente se salva pasando de la forma curva á la recta por medio de unos suplementos de talla hechos por el mismo sistema según la figura 456.


Fig. 456

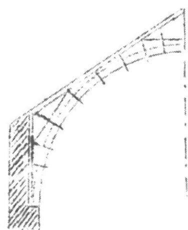
En esta clase de cubiertas, tal como se ha descrito, se pierde gran cantidad de material y se necesita mucha mano de obra, pero se gana grandemente, como ya se ha dicho, en el aspecto interior, y el empuje, aunque existe, además de repartirse mucho, es pequeño por no ser grandes las cargas. Puede decirse, sin embargo, que el sistema está hoy abandonado viéndose sólo en los encamonados que algunas veces se ha-

cen al interior para conciliar la economía con necesidades de construcción para simular bovedas esquilfadas ó en cañon, que luego se guarnecen, pintan y decoran, resultando una estructura falsa, por lo que no es recomendable (V. Detalles en las láminas y en la obra De Filiberto Delorme)

Sistema De Emy. Propone este constructor variar la constitución de las cerchas, empleando curvadas en vez de cortadas, valiéndose de moldes para darles la curvatura conveniente y formándose cada cercha con 5 ó 6 tablas, pero como quiera que estas siempre conservarán la tendencia á recobrar la forma primitiva en cuanto se suelten, hay que disponer cinchos y pasadores alternativamente (Fig. 457), los primeros para sujetarlas y mantenerlas unidas, y los segundos para impedir el resbalamiento de unas sobre otras. Aconseja Emy que se dé á las cerchas la curvatura un poco mayor que la necesaria á fin de que ese exceso contrareste la deformación de la pieza cuando queda suelta. Las uniones de las tablas deben disponerse contrapeadas

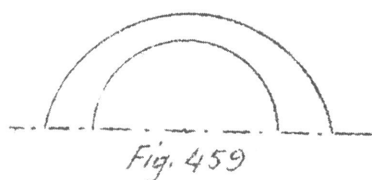

Fig. 457

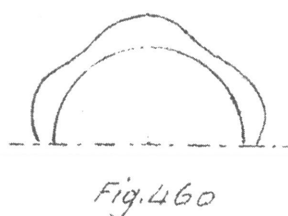
Se combina esta armadura con otra de piezas rectas parecida á la de Ardan, con tirantillas, tornapuntas y manguetas, que son piezas dobles (Fig. 458) Las manguetas pueden ser normales ó verticales; las primeras reparten mejor las cargas entre las dos formas; cada una de ellas necesita entalladuras, cuya forma depende del sitio en que hayan de ser colocadas, y luego se suje-


Fig. 458

tan las dos piezas con pasadores. Las piezas a b no deben ser verticales para que no empujen el muro superior cuando el arco se deforma. En la parte inferior se asientan las formas sobre soleras y estas sobre retallos. Las soleras han de ser dobles, por lo menos, y entre las dos se coloca la pieza curva con una especie de espiga, y, si se quiere, con dos nudillos. Las manguetas pueden servir de correas en su parte excedente, que la necesitan para hacer el oficio de cepos.

Emy supone que en el arco va á haber juntas; desde luego se hace que estas queden alternadas, pero queda la duda de en que seccion es mas conveniente que estén, y propone que se trate la cercha como si fuera un arco de fábrica, suponiendo que el arco de igual resistencia es el que representa la figura 459, pero esta no es su forma verdadera. Si recordamos lo que sobre esta materia dice la Resistencia, veremos que dicho arco afecta mas bien la forma indicada en la figura 460, que nos da los verdaderos puntos ó regiones donde deben estar las juntas.


Fig. 459

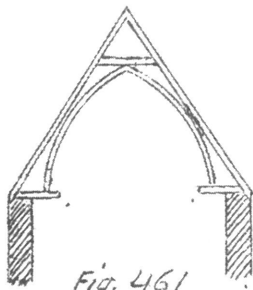

Fig. 460

Respecto al espesor de la cercha entiende Emy, y así propone que haga, que no sea constante; pero esto es erróneo, y debe hacerse todo lo contrario, es decir, que se conserven en el vértice todos los espesores.

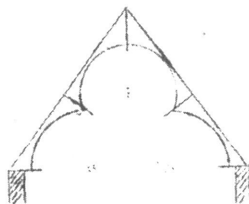
Armaduras de piezas curvas sin tirante empleando piezas macizas

Han sido de uso frecuente en la Edad Media, sobre todo en la escuela inglesa.

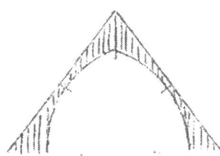
Es evidente que una pieza curva cuando es bastante rígida, satisface á una de las condiciones para hacer que el empuje sea muy pequeño. Consideremos el caso mas sencillo: una nave de 5 a 6 metros de luz; pueden encontrarse piezas naturalmente curvas que den la rama de un arco apuntado por medio de tirantillas en el punto de tangencia (Fig. 461) El asiento se hace sobre unos nudillos volados, que, si son grandes, pueden decorarse poniendo una cartela ó palomilla.


Fig. 461

Cuando el vano llega á 8 ó 10 metros las ramas de curva pueden no ser de una pieza; en la parte superior se pone una tirantilla ó pendolón (Fig. 462)

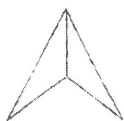

Fig. 462

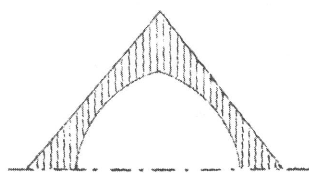
Se puede cubrir grandes vanos poniendo arcos muy peraltados, que podrán ser de un solo trozo, y para hacer mas rígido el sistema, se cubren los espacios con tabla perfectamente machiembrada (Fig. 463) (Un ejemplo de esto es la Catedral de Dick, construida por Violet le Duc).


Fig. 463

El sistema descrito es invariable toda vez que

estamos en el caso de dos triángulos de materia rígida, unidos por un lado (Fig. 464) y que no dan otro empuje que el que pueda producir la deformación. De este modo se constituyen armaduras de tablas unidas entre sí por medio de clavijas, y forman un tímpano que no produce deformación (Fig. 465). Como ejemplo tenemos la armadura de la Abadía de Wetminster, que no tiene tirantes, y ofrece la particularidad de que en su estructura se pueden distinguir dos partes: una de piezas rectas y otra de piezas curvas; para dar rigidez al conjunto se estableció un entablado, con adornos calados, que cuaja todos los huecos. La pieza curva a (Fig. 466) atraviesa por medio de las entalladuras y sirve de apo. Toda la obra está perfectamente ejecutada, siendo las juntas casi imperceptibles (Vease Violet Le Duc, Charpente). En la parte inferior existen palomillas y así se obtiene un sistema completamente rígido. Estas palomillas tienen que ser objeto de un estudio hecho con algún cuidado, pues vienen á reemplazar á las tornapuntas que deberían seguir la dirección de la resultante de los esfuerzos, y así no habrá mas que una presión, pues de lo contrario la tornapunta tendería á girar, y sería arrancada ó se separaría del empotramiento, como algunas veces sucede. (Fig. 467)


Fig. 464


Fig. 465

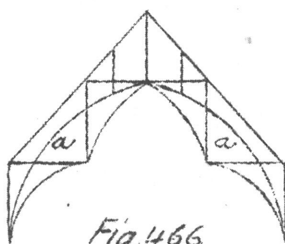


Fig. 466

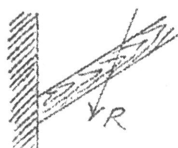
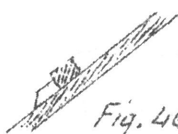


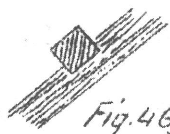
Fig. 467

Entramados de los planos de cubierta.

Todo plano de cubierta se compone de dos elementos: 1.º un sistema de correas ó vigas horizontales que corren de un cuchillo á otro; y 2.º los contrapares que se apoyan sobre las correas.

1.º Correas. Se colocan sobre los pares, sin entalladuras y para evitar el resbalamiento se ponen egiones, que son recibidos á espera ó simplemente clavados (Fig. 468). Para economizar espesores en las fábricas, puede quedar la correa embebida parcial ó totalmente; en este último caso se hace necesaria mayor mano de obra, pero algunas veces es preciso hacerlo así con el fin indicado de disminuir el grueso de los muros. Sobre los costados de los pares se abren las esperas y se ponen las correas como brochales, ó se entalla ligeramente el par. (Fig. 469), pero de un modo ó de otro se debilita este, y acaso convenga mas colocar el egión lateralmente. También puede embeberse toda la correa.


Fig. 468


Fig. 469

Los contrapares siguen la misma dirección de los pares; se ponen en tramos de 3 y 4 ó de 4 y 5, y se clavan sobre las correas, enlazándolos con la la hilera ó con corte á tijera. En algunos casos hay que ganar el alero, para lo cual se hace uso de falsos pares, formando lo que los albañiles llaman ensillado de la armadura (Fig. 470) pero no debe exajerarse el angulo α porque estorbaría para la colocación de las tejas ó

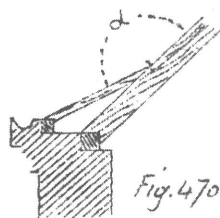


Fig. 470

pizarras; en la parte inferior van á parar á un estribo sentado sobre modillos, haciéndose el corte á barbilla.

En los planos de cubierta pueden presentarse embrochalados para subidas de humos, tragaluces, etc.; habrá, por consiguiente, contrapares cojos, y en este caso se establecen, como en los suelos, dos brochales en los que se apoyan aquellos.

Algunas veces se dejan estos huecos para poder iluminar un espacio y tener vista ó salida al tejado para las reparaciones; hay, pues, que acompañarlos de una guardilla que impida la entrada de las aguas; estas guardillas suelen ser sencillas, pero en determinadas ocasiones han tenido gran importancia. La mas elemental es la llamada de asiento de perro (Fig. 471), y tiene el inconveniente de la lima hoya horizontal; los costados los forman dos entramados triangulares. A dos aguas se resuelve mejor la cuestión: se ponen dos cuchillos entramados que se fabrican y en ellos se apoya la cadena horizontal ab (Fig. 472), y sobre esta unos parecillos con ó sin peto; aunque tambien así hay limas son mas pequeñas y no horizontales como antes, y todo el aspecto de la guardilla resulta mejor.

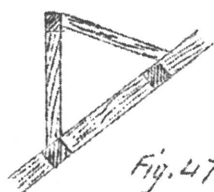


Fig. 471

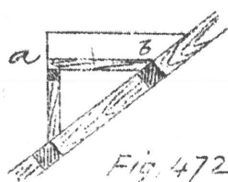


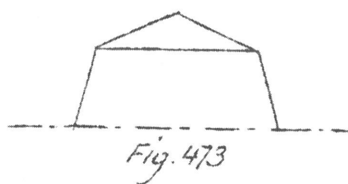
Fig. 472

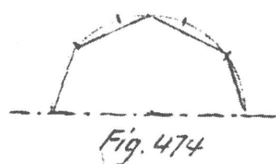
Los pares de la cubierta que llevan los brochales deben ser de alguna mayor importancia, y tambien hay que tener en cuenta que casi siempre se hacen los embrochalados entre correas, pero que cuando no es así hay que cortarlas, siendo necesario embrochalar en el sentido de los pares. En las construcciones de la Edad media y del

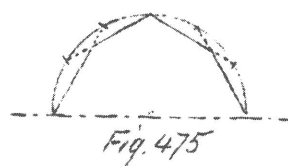
Renacimiento hay ejemplos muy notables de esto, como la casa del Ayuntamiento de Rouen.

Armaduras á la Mansard.

Estas armaduras ofrecen un aspecto poco aceptable; se propusieron para armonizar las ordenanzas con la utilización del espacio que deja la armadura pues, en efecto, queda una habitación en la que se pueden abrir huecos (Figura 473) Para el trazado del perfil hay varios sistemas: 1.º dividir la semicircunferencia en cuatro partes iguales y tomar los puntos de división como vértices de la línea poligonal que determina el perfil de la armadura; 2.º dividir la misma semicircunferencia en cinco porciones iguales, cubriéndose la parte central con una armadura á dos aguas (F.ª 474) 3.º elevar á seis el número de divisiones, y unir la 1.ª con la 3.ª, la 2.ª con la 4.ª y así sucesivamente (Fig. 475); y 4.º como lo que hay que respetar es la altura del techo y la inclinación de la cubierta, se determina la primera, que suele ser 2.m 80 poco mas ó menos y luego se toma el desnivel $\frac{1}{3}h$ (Fig. 476) poniéndose en el centro la cubierta á dos aguas con la pendiente que requiera, construyéndose generalmente como un cuchillo á dos aguas, y suele llevar tirante que sirve para formar el cielo raso; lo angulos se trian-


Fig. 473


Fig. 474


Fig. 475

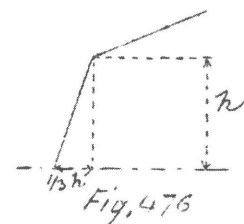


Fig. 476

gulan con cuadrales.

El arriostrado de estas armaduras que llevan en sí un principio de descomposición, es, por lo mismo, cuestión de mucha importancia

El primer arriostrado se obtiene por las correas; si hay terminaciones de frontones y estos son de cierta importancia es posible que no haga falta mas arriostrado, en caso contrario hay que seguirle en planos verticales paralelos al eje de la nave ó sobre los planos de cubierta; en los primeros se dirijen pavalcones desde el pendolón á la hilera, y lo mismo se puede hacer cuando haya falsos pendolones (Fig. 477).



Fig. 477

Para hacer el arriostrado en los planos de cubierta se emplean riostras en cruz ensambladas en su punto medio. La cuestión es triangular los espacios rectangulares que resultan. También se puede arriostrar con varillas de hierro, sobre todo en planos de cubierta; de las dos varillas trabajará una por tracción (Fig. 478)

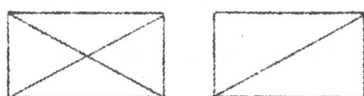


Fig. 478

Vamos á estudiar ahora las armaduras en su conjunto:

1.º Armaduras á un agua; vienen á ser la mitad de las de á dos aguas, hay un muro mas alto que sostiene la carrera, y en la parte inferior habrá un tirante con su estribo; los pares deben asentar con corte de picadero en la parte superior, pues los empujes serán verticales y

no hay mas efectos que el de la deformación. - 2º Armaduras á dos aguas, de planta rectangular ó que se diferencien poco de esta forma: pueden terminarse por petos ó frontones, cuya estabilidad debe estar asegurada (Fig. 479). En los casos en que sea posible la terminación en fronton, que no siempre lo es, debe preferirse á la de peto tanto recto como en esviaje.

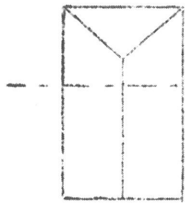


Fig. 479

Supongamos una armadura de forma, que es el caso de mayor complicación: se ponen dos cuchillos, colocando el primero donde empieza el peto, que suele tener la misma inclinación que los faldones; luego media forma al centro del peto, y dos medias formas de lima tesa (Fig. 480); vienen luego las correas sobre egiones, y encima de las correas los contrapares. Los tirantes de las formas enteras van sobre soleras que forman un aro rectangular; en el peto necesitamos tres medios tirantes: el de la media forma se enlaza con el de cabeza, y los de las dos limas se enlazan á cuadrales que no coinciden en un mismo punto (Fig. 491). Los pares mas pequeños del peto se llaman péndolas, que tambien existiran en los faldones; estas péndolas producen algun empuje, y para impedir los movimientos que por esa causa pudieran originarse, se construye un emparrillado (Fig. 482), poniendo otro tirante, ademas del que corresponde al último par, que se une á la correa, y algunas veces se suele reforzar el ángulo con un cuadral ab

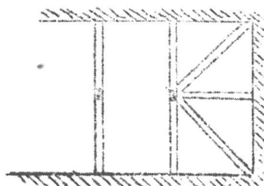


Fig. 480

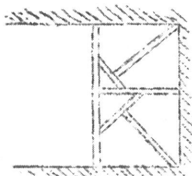


Fig. 481

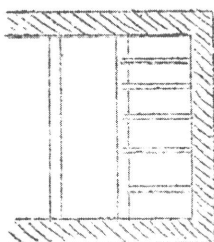


Fig. 482

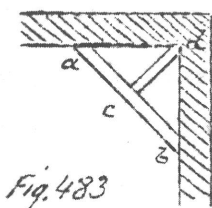
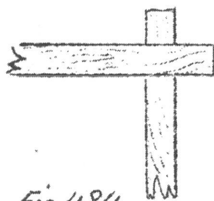


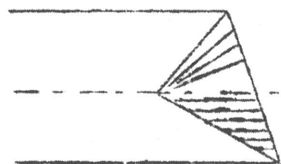
Fig. 483


Fig. 484

y aguilón cd, (Fig. 483) ó solo el aguilón. Este y el cuadral siempre deben enlazarse bien además de estar sujetas las carreras á media madera dejando cogote (Fig. 484). Con el emparrillado es imposible la deformación del muro. La sección de las limas que forman el peto ha de ser de forma pentagonal. En el peto podría ocurrir que las correas no quedasen bien apoyadas mas que en tres puntos, y en este caso debe armarse debajo de cada correa un entramado de sopanda.

Cuando se trata de una armadura de pendolón y se construyen petos, se reunen cinco piezas alrededor de aquel; con él se ensamblan los dos pares de la forma entera, así como el medio par, pero no es necesario ensamblar los dos pares de lima, bastando encajarlos en el correspondiente hueco con corte á pluma, ó, á lo sumo, con una ligera espera.

El pendolón es siempre conveniente, pero si no lo hubiera se puede poner una cabeza suelta. En el caso de peto en esviaje es preciso unir muy bien el angulo de la forma, atendiendo á que en la cabeza del pendolón resulta una diferencia de esfuerzos que se salva con auxiliares metálicos. Los pendolones pueden trazarse normalmente ó nó; en el primer caso las caras laterales son verticales; en el segundo la labra de la madera se complica algo mas (Fig. 485)


Fig. 485

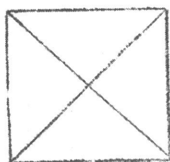
Como comparación entre petos y frontones diremos que el peto requiere mas desarrollo de aleros y de cornisas; presenta tambien dificultades para los encuen-

tros así como para la iluminación de la armadura, pero en cambio no ofrece tanta resistencia como los frontones á la acción del viento, y por lo tanto el empuje producido por esta fuerza se debilita mucho; el peto tiene, pues, sus inconvenientes y sus ventajas. Los inconvenientes de los frontones desaparecen cuando se trata de pequeñas dimensiones.

Armaduras de pabellón.

Si el rectángulo de la planta se va aproximando al cuadrado, los petos darán un caballete muy corto, y cuando llegue á ser un cuadrado todos los faldones se harán triangulares; estos y un nabo central forman entonces la armadura. Si la planta afecta la forma de un polígono, en cuyo caso habrá tantos faldones como lados tenga el polígono, y si este es regular, se forma el centro; y cuando aquel es irregular se busca un punto próximo al centro de gravedad.

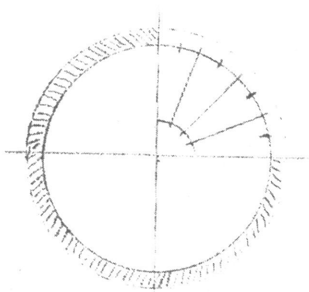
Supongamos que la planta es cuadrada: se coloca una forma siguiendo una de las diagonales, y los otros dos vertices se unen con otras tantas medias formas (Fig. 486). Si el polígono es irregular convendría una posición en que pudiera colocarse una forma entera, pero debería pasar próximamente por el centro de gravedad para que los faldones no sean muy desemejantes; si esto no es posible se emplea una forma que pasando por dicho centro de gravedad y un vértice cor-


Fig. 486

se normalmente al lado opuesto á ese vértice.

Las soleras se ensamblarán perfectamente, y si el espacio es muy grande, puede suprimirse el tirante dejando cogotes. La unión de las limas se hace ensamblando dos, por ejemplo, y las otras dos, ó mas, con corte á pluma, y aún se dejan cuadrales para que no lleguen todas hasta el vértice. Si hay puentes se colocan á distintas elevaciones para que puedan cruzarse, y lo mismo que en las limas, pueden emplearse cuadrales. Lo que debe procurarse siempre es que cada puente se componga de dos elementos que abrazando el par y el nabo sirvan de cepo.

Como ejemplo puede citarse la armadura cónica de planta circular que se ha usado mucho para cubrir torrecillas; su construcción es la siguiente: Según dos diámetros perpendiculares entre sí se colocan dos cuchillos, uno entero y dos medios, apoyándose en ellos cuadrales á los que vienen á parar las formas intermedias. Se asienta la armadura sobre una solera, y mejor sobre dos, que se apoyan en nudillos; luego un tirante correspondiente á la forma entera y dos medios; para los demás tirantes intermedios se ponen cuadrales. Pueden no llevar tirante todas las formas y sí solo el nudillo que sirve de base á las intermedias (Fig. 487). De este modo se arman las formas principales, y si hay puentes se hace lo mismo. Si no se pusieran cuadrales todos los pares concurrirían al vértice y habría que adelgazarlos ó afilarlos; se evita esto con una corona de brochales que permite, de cada dos pares, suprimir uno,


Fig 487

y si aún quedan muchos se establece otra corona de brochales, y así solo llegarán á la parte superior los que buenamente se puedan ensamblar. El pendolón central tiene tantas caras como pares, suponiendo que no haya brochales, bastando entonces una lijera ceja para el ensamble (Fig. 488)

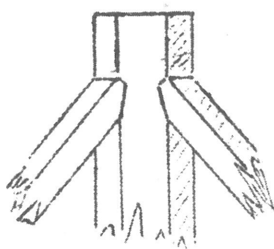


Fig. 488

Estas armaduras son de gran aplicación cuando quiere evitarse el empleo de los tirantes; en este caso es muy importante disponer bien la cadena inferior, y merced á la disposición cerrada se pueden suprimir los puentes y demás piezas; y aún cabe otra disposición, que es llevar á la superficie de la cubierta todos lo elementos, cinchando á la altura correspondiente por medio de correas circulares.

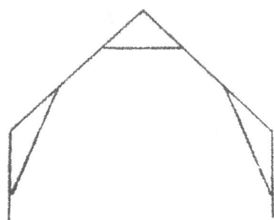


Fig. 489

Los puente de la parte superior suele colocarse de manera que forme el cielo raso; y no hay inconveniente en reforzar con palomillas el arranque de todos los pares (Fig. 489)

Flechas de madera

Son armaduras de pabellón, pero sus proporciones difieren notablemente; afectan la forma piramidal ó cónicas, y su altura es cuatro ó cinco veces mayor que el lado del cuadrado de la base. El viento ejerce sobre las flechas una acción grande, tendiendo á arrancarlas por la base. Su estructura debe simplificarse

mucho para evitar el empleo de un gran maderamen, y así se hizo en la Edad Media, construyéndolas de un solo trozo, lo que es muy importante para las restauraciones, circulación, etc. En el Renacimiento se construyeron por pisos, estableciendo primeramente un tronco de pirámide con su carrera; luego los tirantes y un nuevo tronco de pirámide, y así sucesivamente, sistema muy desventajoso, pues las presiones de las carreras medias van á acumularse, resultando una depresión notable que hace trabajar con esceso á los ensambles; esta disposición solo puede aceptarse para flechas de poca importancia.

Mejor es el procedimiento seguido en la Edad Media con continuidad absoluta de pares y pendolones, llegando el central desde el vértice hasta la base, ligándose con cepos á diferentes alturas por medio de enrayados con piezas dobles. Para evitar la rotación alrededor del eje se colocan riostras que trianguleen los espacios aunque esto implica mucha acumulación de piezas, por lo que es mas conveniente quitar los elementos interiores y asegurar los pares por otros medios. Del poste central solo debe conservarse la parte última, que la verdaderamente util.

Möller es el que mas ha estudiado esta cuestion y ha establecido los principios que deben tenerse en cuenta. Las condiciones, con relación á la resistencia y á los agentes que tienden á modificarla, son: asentar la obra de carpintería en la fábrica sobre nudillos y no empotrada, para que las vibraciones no se transmitan, lo que se consigue colocando dichos nudillos y soleras á cogote y encima la fle-

cha. La parte interior ha de ser lo mas diáfana posible, supriméndose el mayor número de piezas y llevándolas, en cambio, á la superficie. Se suprimirá también el poste ó alma vertical, conservando solo el trozo superior para enlazar las limas y los remates de los hierros. Se establecerá absoluta continuidad de limas y pares, empalmándolas si son piezas de mucha longitud. Los faldones deben disponerse de modo que no produzcan empuje. Es preciso, además, poner de trecho en trecho entramados horizontales que pueden servir de andamios.

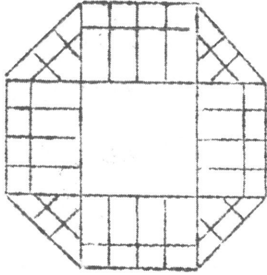
Respecto de la duración, dice Möller que la mayor parte de las flechas perecen bajo la accion del agua y del viento, á causa de que la primera se aloja en las escopleaduras de los ensambles, y por esto debe evitarse el hacer cajas que puedan retener el agua. No deben empotrarse las piezas, y si solo, como se ha dicho, los nudillos, y procurar á toda costa la aereación de las maderas por medio de ventiladores, ojos, etc., abiertos en las caras de la pirámide.

Con relación á las reparaciones, que siempre son difíciles, establece que las piezas deben enlazarse de modo que sea fácil la recomposición, suprimiendo las clavazones para evitar el deterioro de las maderas.

Los ensayados son utilísimos, pues dejan también los andamios disponer ventanas para que se puedan sacar puentes ó palomillas para las restauraciones, y permiten también obtener independencia entre los apoyos para que pueda quitarse una

pieza sin necesidad de desarmar toda la flecha.

Veamos como puede conseguirse esto: Sea una torre de planta octogonal (Fig. 490); sobre el muro se disponen modillos y dobles soleras armadas con escuadras, pasadores, etc., para dar gran resistencia á la construcción, y luego se establece un enrayado formado por tirantes que unen vértices opuestos, y de los cuales dos son enterizos, y los otros dos se entallan ó se forman con piezas mas pequeñas, iguales á los espacios que dejan los primeros. Para que las péndolas no empujen se ponen unas piezas que unen las soleras con los tirantes. A fin de dejar apoyo para el segundo enrayado se forma una especie de caballete compuesto de solera inferior, piezas oblicuas en cruz de San Andrés, y soleras superiores que se apoyan en los tirantes, entallándolas si se quiere. Möller propone que en el segundo compartimento se pongan los tirantes de modo que se crucen á 45° con los del enrayado primero. Cuando el hueco interior se haya reducido bastante se mete el poste vertical, que puede cogerse no solo por un enrayado, sino por dos.


Fig. 490

Las limas se ensamblan abajo en los tirantes; en diversos puntos de su altura se apoyan en las soleras de los caballetes, y en la parte superior se enlazan con el poste; esta disposición permite que cada lima pueda repararse independientemente. El hueco central facilita mucho la construcción de la flecha y la colocación de andamios por la parte ex-

terior es sumamente sencilla; se puede poner paradores, que hacen mas facil el desarme. El número de enrayados que deben emplearse depende de la altura de la flecha. Otros medios se han propuesto, poniendo los entramados en diversos sentidos y en dirección de los radios oblicuos.

Flechas sobre cruceros

Como quieran que estas descansan sobre carpintería, en muchos casos no es posible su construcción por la mucha carga que producen. No pudiendo la flecha abarcar todo el crucero se ha empleado el recurso de reducir su sección y apoyarla en la armadura de aquel, que está compuesto de cuatro cuchillos de cabeza sobre los cuatro arcos torales y de dos cuchillos diagonales que forman las cuatro limas hoyas, y sobre esto se levanta la flecha de planta octogonal (Fig. 491). Hay dos sistemas principales: el primero consiste en reforzar el entramado de los tirantes y sobre él levantar la flecha, pero es complicado y poco seguro á causa del mucho peso de la flecha: la de la Catedral de Amiens está construida de este modo. Mas aceptable y mejor es el segundo sistema haciendo que haya enlace entre los elementos de la flecha y los de la cubierta, procedimiento que hoy se sigue casi en absoluto, y del cual puede citarse como ejemplo notable la flecha de la Catedral de Paris. Se nota, sin embargo en dicho sistema, mas

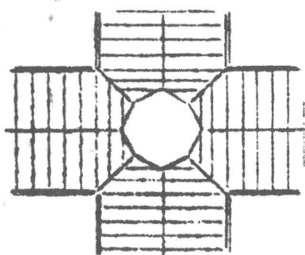
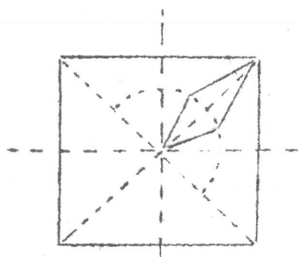


Fig. 491

falta de homogeneidad entre las ocho limas en relación con sus apoyos; las cuatro de las diagonales pueden reforzarse y quedar bien asentadas, pero las otra cuatro descansan sobre los caballetes y hay que suplir la falta de apoyo.

La citada flecha de la Catedral de Paris fue hecha por Violet le Duc. Su base es un octógono del que cuatro aristas se apoyan sobre los cuchillos diagonales y quedan muy bien asentadas; las otra cuatro descansan, como se ha dicho, en los caballetes; el ensayado de los tirantes es solidísimo y se reforzó con tres piezas endentadas, estableciéndose, además, un juego de jabalcones cruzados que vienen á apretar una pieza casi vertical adosada al muro y apear el tirante en los puntos de mas importancia, siendo uno de ellos el de reunión de las limas y de este modo ya es facil darles apoyo. También se establece enlace con el pendolón por medio de una especie de entramado vertical. El enlace de las limas con la armadura se ha hecho por cepos, constituyendose una especie de viga armada. El par debe sobresalir de la lima, y se origina en lugar de una lima hoya una tesa y dos hoyas (Fig. 492). Las ventajas de esto son tener dos limas en vez de una, lo que favorece la salida de las aguas y que la flecha, apoyándose sobre los maderos del crucero forma una especie de contrafuerte que traslada los empujes, que también son transmitidos por una tornapunta que llega hasta la parte superior, en la que la flecha de que nos ocupamos no se diferencia de


Fig. 492

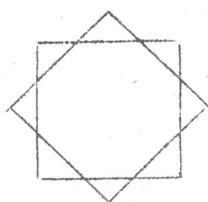


Fig. 493

otra cualquiera: tiene nabo con riostras y enrayados de tirante, pero su sección horizontal no es un octógono, es la combinación de dos cuadrados como representa la figura 493, disposición muy favorable para los efectos de luz. Ha sido labor muy sencilla la de establecer las riostras en la superficie y según los lados del cuadrado. La altura de la flecha sobre el nivel del suelo es de 94 metros. (V. el Diccionario De Violet le Duc)

Cúpulas de madera.

Son armaduras de pabellón cuya planta tiene infinitos lados. Dos sistemas hay para su construcción, de los cuales el primero es el menos lógico y racional; veamos en que consiste.

Consideremos la planta de forma octogonal, que es el caso mas frecuente. Sobre el octógono de planta se hace descansar un doble aro de carreras, y encima se constituye una armadura de pabellón en forma de pirámide truncada si hay lucernario. Las ocho limas embarbillan en el aro de planta que está asentado sobre nudillos y hace de tirante, y en la parte superior van á parar á otro aro mas pequeño de la misma forma que el primero (Fig. 494) Los piezas de las soleras se establecen dejando cogotes Luego se forra y abulta todo simulando una esfera, para lo cual se ponen camones, y

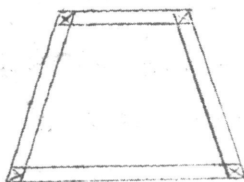
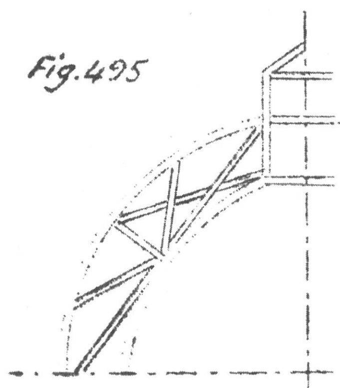


Fig. 494

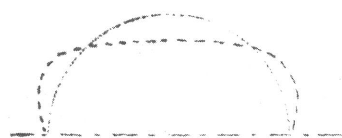
en ellos se clavan listones ó cañas. Por la parte exterior (Fig. 495) puede quedar la forma de pavellon, ó se simula la esfera por medio de camones. La armadura lleva en cada una de sus caras los pares y péndolas necesarios para cuajar los espacios. El sistema descrito es caro porque exije mucha cantidad de madera, y esta se conserva mal aunque se dejan, sin embargo, ventiladores; presenta, tambien, el inconveniente de que no queda paso para hacer las reparaciones.


Fig. 495

Consiste el segundo sistema en poner cerchas de madera, bien sean de Emy ó bien de Filiberto Delorme, siendo preferibles estas últimas. Un aro en la planta, otro en el lucernario ó pequeño nabo, y repartidos los camones con sus enlistonados por los dos lados, forman la estructura.

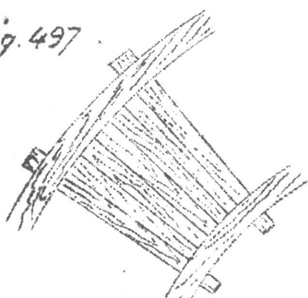
Para determinar las condiciones á que debe satisfacer una cúpula veamos cuales son las causas que pueden hacerla perecer.

1º La flexion de los camones, que estan sujetos por su pié, y van á ser cargados, pudiéndose doblar hácia el exterior (Fig. 496): para evitarlo se ponen cinchos, que pueden ser de madera, á diferentes alturas, y sencillos listones encorvados, de 0m02 de grueso y 0m07 á 0m08 de tabla, que se doblan bien y se adaptan por fuera.

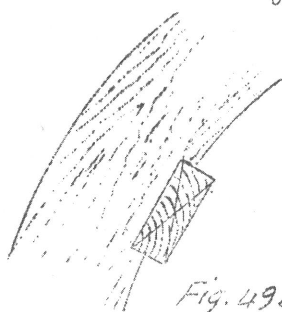

Fig. 496

2º Como los camones estan formados de tablas puestas de canto (en número de 3, y algunas

veces hasta 5 ó 6) se pueden separar, esfoliándose, al recibir las cargas; para prevenir esto propone Moller que además del clavado se pongan cuñas en los lados: á este efecto se establecen cinchos de 0m08 × 0m02, y de uno á otro, por los costados del camón, pasan cuñas ajustadas á él, completándose la sujección con pernos pasantes de cabeza y tuerca (Fig. 497). A estas cuñas puede dárseles de espesor unos dos centímetros.


Fig. 497

3º Es posible, también que el camón se salga de su plano por tener flexión lateral, moviéndose los cinchos y convirtiéndose el plano en forma ondulada. Esto lo evitan en parte los cinchos y mas si el lugar de estar solo yustapuestos llevan una ligera entalladura (Fig. 498). Si la cúpula fuera de gran luz puede ponerse teleras ó correas que atraviesen los camones, provistas de una escopleadura, sujetándose con cuñas por los dos lados.


Fig. 498

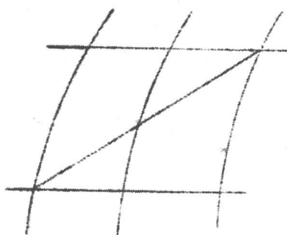
4º Puede ocurrir, asimismo, que las tablas se astillen, originándose de aquí otro movimiento; se evita con las cuñas que impiden salten las fibras.

5º El asiento desigual de algunos camones, por efecto de quedar pequeñas holguras ó por haberse empleado distintas clases de madera, puede producir una acumulación de carga sobre los camones que han permanecido fijos; se impide que tan grave accidente ocurra con la entalladura de los

cinchos, según ya se ha dicho, y así se reparte la carga y no puede haber movimientos independientes.

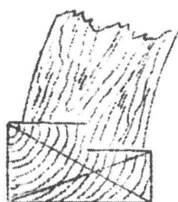
6º= Si la cúpula es de grandes dimensiones pudiera tener lugar un desplazamiento; de aquí la necesidad de ampararla en su base con otras armaduras de edificaciones próximas, las de las naves, por ejemplo.

7º= Queda, por último, el movimiento de hilado y torsión, que es de temer en las grandes cúpulas; por esta causa deben ponerse riostras que triangulen los espacios que en forma de trapecio quedan entre los camones y los cinchos. Las riostras serán curvas, no siendo necesario emplearlas en todos los espacios (Fig. 499)

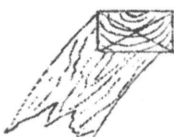

Fig. 499

Este sistema resulta caro de mano de obra, pero da una solución racional y sencilla, y los empujes que resultan son muy pequeños.

Asiento de los camones. Se colocan soleras circulares, siendo preferibles las del sistema Emy, ó piezas naturalmente curvas; sobre ellas se asientan las cerchas, dejando á lo sumo un ligero mordiente (Fig. 500) sin hacer espigas para que no penetre por ellas la humedad, ó se sujetan lateralmente por dos nudillos.


Fig. 500

Conviene que el aro del lucernario sea del sistema Delorme, y arriba se une con corte de barbilla para alojar el camón (Figura 501), completándose la unión con el auxilio de hierros.


Fig. 501

Esta cúpula queda sin ventilación,

pues solo existe un pequeño espacio igual al canto del cañón y no puede recorrerse para la vigilancia; tampoco establece el debido aislamiento con las alteraciones atmosféricas exteriores, y por eso la idea de hacerlas dobles: la envolvente de perfil mas peraltado, y la interior á una distancia tal de aquella que pueda circular entre las dos una persona. En la base deben abrirse ventiladores para la mejor conservación de la madera.

Naturalmente, cuando se trata de una cúpula pequeña, no es esto necesario: se construyen las dos hojas iguales, enlazándolas por medio de manguetas, en forma de cepos, en dirección normal á la hoja exterior, estableciéndose así la solidaridad del conjunto. Las manguetas también se enlazan entre sí con correas.

Otra modificación del sistema descrito consiste en construir la hoja interior de fábrica á modo de cascarón ligero para sostener solo su peso, y al exterior una cúpula de cañones, reforzada con un entramado. (V. las láminas: Proyecto de Schinquel para la iglesia de S.ⁿ Nicolás de Postdam) En la actualidad no se hace nada de esto á causa de lo mucho que se emplea el hierro.

Castillejos de campanas = Son entramados que deben tener la resistencia necesaria para soportar el peso de las campanas y los esfuerzos producidos por el movimiento de estas. Se construyen colocando en la fábrica de la torre soleras en aro apoyadas en mudillos, y sobre ellas se levanta el castillejo, que debe estar bastante libre para que sus movi-

mientos no se transmitan á la fábrica.

El conjunto debe ser indeformable, y para ello se establecen riostras hasta tener piezas sobrantes, siendo también necesario ensamblar con herrajes, cinchos, pasadores, etc. (V. las láminas)

Armaduras compuestas.

El problema consiste en determinar la proyección horizontal de los planos de cubierta dada la planta; desde luego esto es difícil y no puede sujetarse á reglas generales; solo se establecen los principios siguientes: 1º. Las combinaciones de dichos planos no deben dar lugar á limas hoyas perpendiculares á las fachadas, pues además de las dificultades que ofrece su construcción se interrumpen facilmente; 2º. Es preciso que los caballetes sean, en lo posible, horizontales, pues siendo estos los que dan la silueta del edificio, debe evitarse que determinen líneas inclinadas que son de muy mal efecto; y además, á no poner gran cuidado en la construcción, los caballetes inclinados facilitan el movimiento de la armadura en el sentido de la pendiente. Esta segunda condición es facil de cumplir cuando se trata de un edificio de planta regular, pero no así cuando afecta la forma de trapecio; veamos lo que en este caso debe hacerse:

Supongamos que se quiere cubrir con una

armadura á dos aguas la planta ABCD (Fig. 502); para ello podría emplearse el caballete inclinado, pero vamos á evitarlo trazándole desde luego paralelo á uno de los lados, y se tendrá un faldón plano; pero para el segundo se formará una superficie alabeada, cuyo plano director es normal al caballete; cuando la diferencia entre los dos faldones es pequeña puede formarse la superficie alabeada forzando la tabla ripia al clavarla, y si el alabeo es poco se disimula dejando las juntas algo abiertas; mas como la cubierta no tiene la flexibilidad de la tabla, este sistema presenta algunos inconvenientes en la construcción, y habría que volver al caballete inclinado con el empleo de tijeras desiguales y arriostrando para evitar los movimientos de la armadura. Vamos á ver como puede evitarse esto sin llegar á ninguno de los dos extremos.

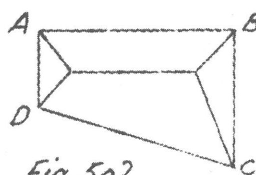
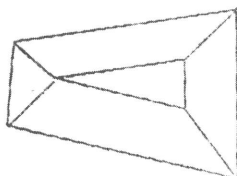


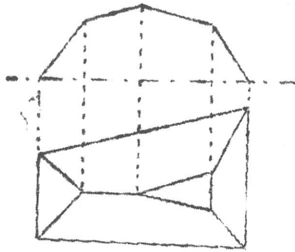
Fig. 502

Si el edificio es pequeño y la planta un trapecio algo simétrico, se hacen pasar planos por las líneas de alero, limitándolos por caballetes horizontales (Fig. 503): en el centro queda una superficie ó espacio triangular que se cubre con armadura de pabellón, y si hubiera patio ó caja de escalera debe procurarse que ocupen dicho espacio

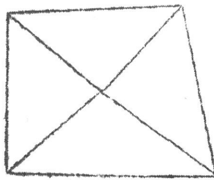

Fig. 503

Si se toma un punto en el interior y se ponen dos caballetes inclinados (Fig. 504) queda la cu—

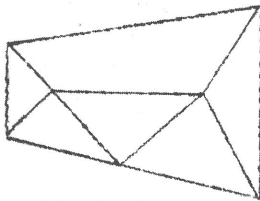
bierta con mejor aspecto.

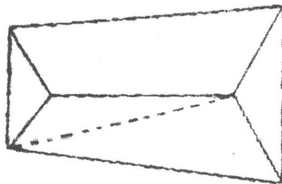

Fig. 504

No habiendo gran desigualdad entre los lados del trapecio, se resuelve el problema con una armadura de pabellón buscando un centro (Fig. 505); en este caso ya no resultan los faldones con la misma pendiente, que puede rebasar los límites marcados para los materiales que se emplean en las cubiertas; si esto se evita la solución es buena.


Fig. 505

También puede hacerse en lugar de una superficie alabeada, muy pequeña, ó tres planos, aún cuando resultarán limas muy abiertas y un ligero quebranto en el caballete (Fig. 506); si los materiales empleados se adaptan bien á esta disposición puede ser aceptada; el mismo resultado se consigue con dos planos (Fig. 507). Si se quiere complicar mas la cuestión, puede cubrirse el espacio con varias armaduras de tendidos planos; para ello se toma el punto a (Fig. 508), ó sea el medio de bc, y se trazan dos armaduras á dos aguas, cubriéndose el espacio triangular a m n se cubre con otra de la misma clase, formando con las anteriores cuatro limas hoyas; si no se quiere hacer frontones en ab, ac, dm y ne, se terminan las dos primeras arma-


Fig. 506


Fig. 507

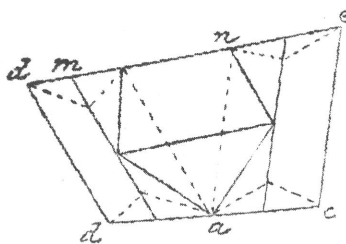


Fig. 508

duras con petos, según se indica en la figura por las líneas de puntos.

Vamos á ocuparnos ahora de los diversos problemas que pueden presentarse en los encuentros de armaduras.

1.er caso. = Encuentro de dos armaduras á dos aguas teniendo ambas la misma luz. El problema geométrico no ofrece dificultad, así como tampoco el constructivo, que puede ser resuelto de dos modos; ocurre, en efecto, que por lo general una de las paredes, la a.d. por ejemplo (Fig. 509) puede prolongarse hasta encontrar á la otra en e por convenir así á la distribución interior del edificio ó porque se sustituya esa traviesa por una carrera convenientemente apeada con columnas, si se quiere dejar el espacio diáfano; en este caso la cuestión es sumamente sencilla: basta prolongar una de las traviesas y construir la armadura como si estuviera sola, y luego se coloca sobre los pares un tablón a b (Fig. 510) sobre el cual vienen á apoyarse los pares de la otra armadura. Es evidente que en este procedimiento, que los carpinteros llaman de lima sobrecargada, la parte de la primera armadura que queda debajo de la segunda no necesita ser entallada; la lima a b, que se apoya sobre cuatro ó cinco pares, no exije ser de grandes dimensiones, bastando, á veces, una simple levadura. Pero supongamos ahora que por deter-

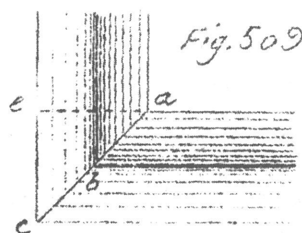


Fig. 509

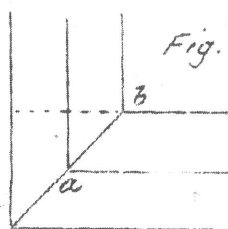


Fig. 510

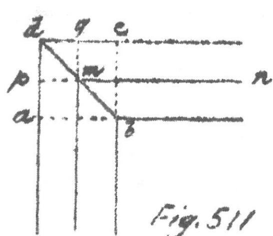


Fig. 511

minadas circunstancias, la prolongación de la traviesa no puede hacerse: entonces se ponen dos cuchillos de cabeza, a b y b c (Fig. 511), uno de diagonal d b, y así se tienen ya tres puntos para apoyar las péndolas.

Puede ocurrir que haya necesidad de contrarrestar el movimiento que el caballete m n tiende á tomar según la dirección de la flecha; para ello se ponen las ramiformes m p y m q, y puede colocarse otro cuchillo diagonal según c a si se quiere dar mas de dos puntos de apoyo á las correas cuando la luz sea muy grande, y aún cabe armarlas con tirantes de hierro.

2.º caso. Encuentro de dos armaduras á dos aguas de desigual luz. Es necesario procurar que la lima a b sea simétrica para el buen aspecto de la cubierta, quedando entonces el trazado tal como indica la figura 512, resultando que las pendientes de los faldones de la armadura de menor luz son desiguales. La construcción es en todo análoga á la del caso anterior; se emplea la lima sobrecargada si se puede prolongar una traviesa, y si esto no es posible, se ponen dos limas en la armadura grande y una en la pequeña.

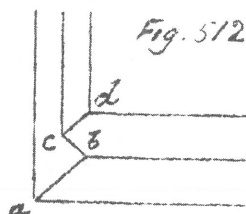


Fig. 512

3.er caso. Encuentro de una armadura á un agua con otra á dos, de luz doble que la de la primera. Viene á ser el caso de una medianería, y es sumamente sencillo; siendo posible prologar la traviesa, se pone, como siem-

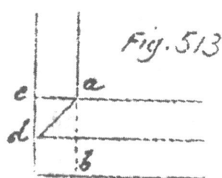
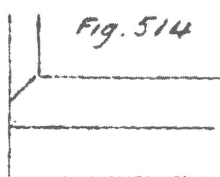
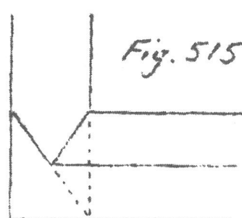


Fig. 513

pre. lima sobrecargada, ó sea, un cuchillo de cabera según ab (Fig. 513), medio según ac, y el semi-diagonal ad.

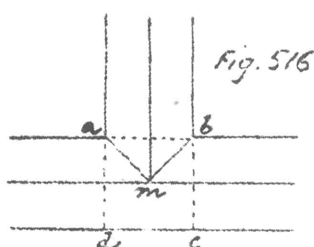


4º caso. Encuentro de una armadura á un agua, con otras á dos de luz mayor que el doble de la primera. La resolución de este caso es completamente análoga á la del anterior (Fig. 514)

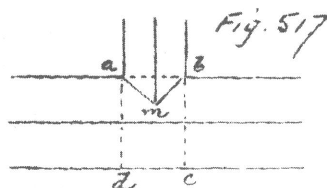


5º caso. Encuentro de una armadura á un agua, con otra á dos, siendo la luz de esta menor que el doble de la que corresponde á la primera. Se resuelve de la misma manera que los casos 3º y 4º, prolongandose el tendido de las armaduras á dos aguas, siguiendo para la construcción la regla general (Fig. 515)

6º caso. Encuentro de dos armaduras á dos aguas de igual luz, de las que una se prolonga mas allá del punto de encuentro. Es evidente que, tanto los caballetes como los aleros, vendrán á quedar á la misma altura; la construcción se hace sencillamente con lima sobrecargada si se puede prolongar la traviesa, ó se establecen tres cuchillos de cabera, ab, bc y ad (Fig. 516), y los dos medios diagonales am y bm.



7º caso. Encuentro de dos armaduras á dos aguas, de luz distinto, de las cuales la mayor se prolonga mas allá del punto de encuentro. Siempre que las pendientes sean iguales las bisectrices de los angulos formados por las armaduras, indicarán las posiciones



de las limas (Fig. 517). La construcción se hace, ó con lima sobrecargada, ó con cuchillos de cabeza ab, bc y cd y dos semidiagonales según am y bm.

8.º caso. Encuentro de dos armaduras á dos aguas, de diferente luz, prolongándose la menor mas allá del punto de encuentro. La resolución geométrica está dada en la figura 518; la de construcción queda reducida á que si pueden prolongarse ab y cd, construir la armadura pequeña como si fuese aislada y con peto; y si estas prolongaciones no son posibles, se establecen los cuchillos de cabeza ab, ac y cd, y los dos medios mn y pq. El caballete xy debe prolongarse por debajo de la armadura en la parte mp con objeto de obtener mas rigidez.

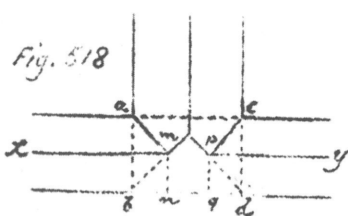
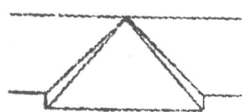


Fig. 518

Puede ocurrir, finalmente, que las armaduras se crucen, es decir, que se prolonguen las dos mas allá del punto de su encuentro. La solución en este caso es análoga á la indicada para los anteriores, sea ó no recto el ángulo de intersección

En la ejecución de lo que precede no debe haber exajeraciones. Si las diferencias de luces son pequeñas es preferible alterar la pendiente aún cuando la lima no se proyecte según la bisectriz. Así, si se trata, por ejemplo de los pequeños salientes que algunas veces se dejan en las fachadas se sigue el procedimiento indicado en la figura 519, sin necesidad de complicar mas la construcción.


Fig. 519

Con mucha frecuencia se presenta el caso de que se encuentren dos armaduras á dos aguas de desigual

luz; si se fuerza la pendiente, ya sabemos que la lima no quedará situada en el plano bisector, lo que puede tener importancia para el buen aspecto del edificio; el problema suele resolverse haciendo la armadura menor de dos tendidos desiguales, el exterior igual á la semiluz de la armadura grande, quedando, por consiguiente el mas pequeño hacia el lado interior, en el cual la línea de alero resultará mas elevada (Fig. 520), toda vez que suponemos la pendiente constante; pero lejos de ser esto un inconveniente es una ventaja, puesto, que correspondiendo generalmente á patios en los cuales puede construirse á modo de un pequeño ático, permite dar condiciones de habitación á espacios que de otro modo solo hubiesen podido ser utilizadas como guardillas.

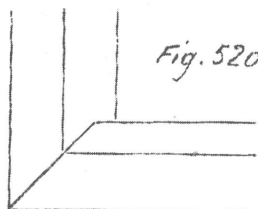


Fig. 520

Paredes de madera

Su construcción es mixta, y comprende el entramado y el cerramiento de sus huecos, que se llama tabicado cuando se hace de albañilería.

I- Entramados

Se componen, en primer lugar, de soportes llamados piés derechos, que asientan, ya sobre un cimiento corrido cuando se trata de la primer altura, ó sobre

piezas horizontales cuando se trata de las sucesivas; y en segunda lugar comprenden otras piezas, llamadas carreras, que se apoyan sobre los mencionados piés derechos y sustentan, á su vez los maderos de piso. El entramado así formado, y cuyo diagrama representa la figura 521, es deformable; para evitarlo es necesario el empleo de las riostras a b, c d, ... que triangulan los espacios rectangulares que quedan entre los piés derechos y en los cuales el ángulo recto desaparecería al menor asiento que se produjese.

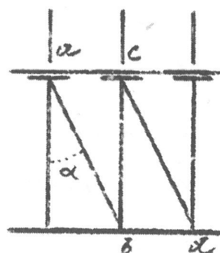
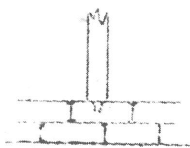


Fig. 521

Dichas tornapuntas pueden ponerse en uno ó en otro sentido, y aún á veces se combinan; presenta su empleo, sin embargo, el inconveniente de que el espacio que comprende el ángulo α, que necesariamente ha de ser agudo, se presta poco al empleo del ladrillo para hacer el tabicado.

Veamos, ahora, el modo de construir estos entramados. Los piés derechos que corresponden á la primera altura han de apoyarse sobre el terreno natural, pero con ciertas precauciones, proscribiéndose, desde luego, el empleo de cimientos aislados para cada pié derecho; los cimientos deben ser corridos, y además, como sobre estos no pueden apoyarse directamente aquellos, preciso es elevarlos algo para poner los maderos al abrigo de toda causa que pudiera destruirlos; á este fin puede hacerse lo siguiente: 1.º Construir un zócalo de sillería sobre cuyo enrase se asientan directamente los piés derechos (Fig. 522). 2.º Formar un zócalo


Fig. 522

de albañilería, sobre la cual asienta una carrera apoyada en nudillos con objeto de repartir las presiones, y sobre dichas carreras se apoyan los piés derechos (Fig. 523). Y 3.º Establecer para cada uno de estos una basa de piedra de forma de tronco de pirámide, que se encuentran ya labradas en los talleres de cantería con dimensiones apropiadas á los marcos de madera; así, por ejemplo, cuando se dice una basa para tercia, ya se sabe que se trata de un tronco de pirámide, cuya base menor tenga las dimensiones de la tercia, mas un ligero aumento llamado rebor, que sirve para prevenir cualquier movimiento que el pié derecho pudiera experimentar; la labra de estas basas se hace generalmente solo á picón, y es muy frecuente llenar con fábrica de albañilería los espacios que quedan entre ellas despues de colocadas en obra (Fig. 525)

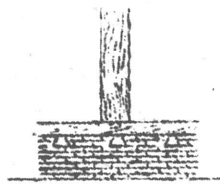


Fig. 523

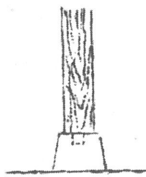


Fig. 524

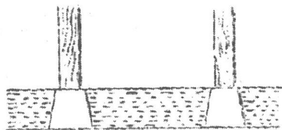


Fig. 525

Al asentar los piés derechos es preciso que cada uno tenga la altura necesaria para que los estremos superiores de todos ellos queden en un mismo plano horizontal; para conseguirlo emplean los carpinteros de armar el siguiente procedimiento, tan práctico como sencillo: Supongamos que se quiere colocar los piés derechos que han de sostener la carrera AB (Fig. 526); se empieza por establecer los dos extremos, m y n, llamados de ereccion, y queda el pro-

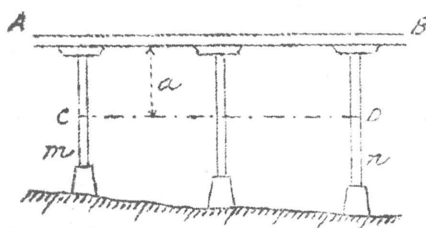
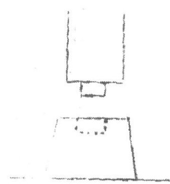


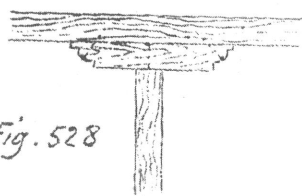
Fig. 526

blema reducido á determinar la longitud respectiva de los maderos intermedios, lo que se hace directamente por medio de la galga, formada de dos reglas que resbalan una sobre otra en el sentido de su longitud, y puede, por lo tanto, variarse á voluntad la distancia entre los dos extremos del aparato; cuando la altura de la carrera sobre el suelo es grande, los carpinteros facilitan la operación trazando la línea de nivel CD á una distancia cualquiera, pero conocida, de dicha carrera, y claro está que entonces la longitud de cada pié derecho será igual á la constante a aumentada en la distancia que haya desde la línea de nivel al terreno, la que se mide con la galga, descontando luego la altura que tenga la basa. haciéndose la unión del pié derecho con esta


Fig. 527

por medio de una botonera de sección circular (Fig 527) que impide cualquier deslizamiento

Se puede contar, por tanto, con tener á la altura conveniente bastantes puntos de apoyo para asentar la carrera, pero esto no se hace nunca directamente sobre el pié derecho, sino estableciendo una pieza intermedia llamada zapata (Fig 528), que sirve para dar mayor superficie de asiento y facilitar el clavado, que se hace con un clavo entre la zapata y el


Fig. 528

pié derecho, y entre la zapata y la carrera con dos oblícuos, que se dicen clavados de oido ó de oreja; hay que tener la precaución de que la cabeza del primero de dichos clavos no sobresalga á fin de que no es-

torbe el buen asiento de la carrera sobre la zapata, lo que se consigue con el empleo de una clavera, que da un espacio donde se aloja aquella, operación que se hace generalmente en el taller, de donde suele salir el pié derecho armado con la zapata.

Las carreras son piezas horizontales que necesitan tres caras labradas: la superior para facilitar el asiento de los materiales que lleve encima, la inferior para el buen ajuste con la zapata, y la exterior por el buen aspecto; en razón á esto, suelen emplearse piezas aserradas, que son las que se obtienen cuando se da un hilo por el eje de la cara llamada tabla, de tal manera que el canto se convierte entonces en tabla, y viene á quedar para canto de las nuevas piezas aserradas la mitad de la tabla primitiva, según se indica en la figura 529

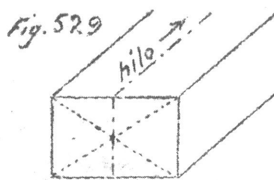
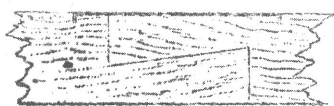


Fig. 529

Muy conveniente sería que las carreras estuviesen formadas por una sola pieza cada una, pero no pudiendo conseguirse esto siempre, se hacen de trozos de la mayor longitud posible, teniendo cuidado de alternar los empalmes en los diferentes pisos del edificio, y se procura que los piés derechos de erección coincidan con los puntos de union de las carreras para que sirvan de apoyo al ensamble, que se hace á media madera con algo de cola, consolidándole con un gatillo de hierro (Fig. 530) Por sus extremos pueden terminar las carreras en un entramado ó en fábrica; en este último caso se ponen nudillos para facilitar el asiento.


Fig. 530

Puede ocurrir que se encuentren dos carreras, y entonces la zapata tiene tres ramales, que se ensamblan á media madera, consolidandose la union por medio de una T de llanta de hierro, provista de codillos y claveras, que se embebe en la parte superior. Tambien pudiera suceder que hubiese encuentro de carreras: en este caso, tanto el auxiliar como la zapata afectaran la forma de cruz.

Establecida la carrera del modo que queda indicado, se apoyan sobre ella los maderos de suelo, y enseguida se empieza á construir el entramado del piso siguiente, para lo cual se abren botoneras en dicha carrera y se introducen en ellas las espigas de los piés derechos, provistos, como ya se dijo antes, de su zapata (Fig. 531). Claro es que, al seguir este sistema de construccion hay que tener cuidado de que los maderos de suelo dejen libres los espacios que han de ocupar los piés derechos.

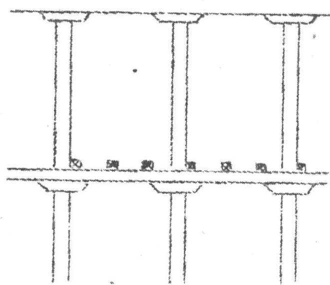


Fig. 531

Antes no se hacia esto asi, sino que encima de los maderos de suelo se ponia una solera y sobre ella se apoyaban los piés derechos; pero en rigor esta solera no es necesaria mas que en el caso de que el entramado superior no esté á plomo con el inferior (Fig. 532), disposicion algunas veces, como se indicó al tratar de los suelos de madera, y entonces no hay inconveniente en que los maderos de suelo esten en la misma vertical

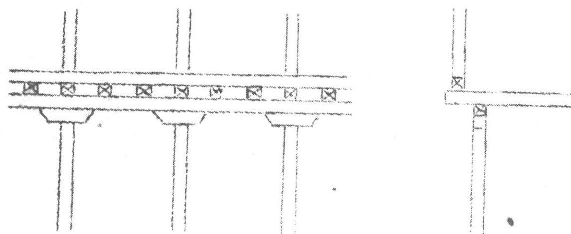


Fig. 532

que los piés derechos del entramado superior.

Al empezar el estudio de los entramados dijimos que era necesario el empleo de nuevos elementos que impidiesen la deformación, y tal era el oficio de la tornapunta, cuyos inconvenientes apuntamos; además, es evidente que si al hacer el entramado se hiciere tambien el tabicado, este mismo serviría para impedir toda deformación; por lo tanto, lo que debe hacerse es establecer piezas horizontales, llamadas puentes, que se unen á los piés derechos con una ligera espera y un clavo, quedando de este modo muy facilitado el tabicado de ladrillo, y hasta tanto que este se haga, se sujetan los piés derechos de erección con dos riostras colocadas en dos planos verticales, y si se considera necesario, se pueden establecer tambien algunos piés derechos intermedios (Fig. 533). Después de hecho el tabicado se quitan dichas riostras, pero no es prudente hacerlo antes. Las puentes no impiden, pues, la deformación, pero sujetan los piés derechos, y así no necesitan tener gran seccion, pudiendo ser de levadura y labrados unicamente por su cara anterior.

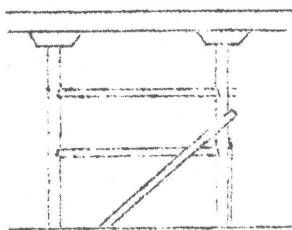
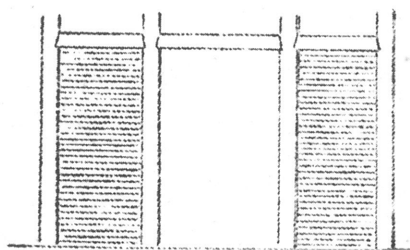
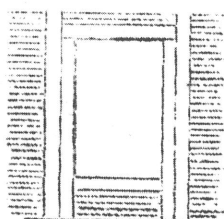


Fig. 533

Generalmente los entramados nó son contínuos, y es preciso dejar en ellos huecos, ya sean para paso, ya para dar luces, etc. Si estos hueco son pequeños, pueden quedar entre dos piés derechos, teniendo en cuenta que la distancia entre sus ejes es de 1.m25 á 1.m40 á lo sumo; si el hueco fuere algo mayor, pero muy poco, que esta dimension, bastará separar los piés derechos á la distancia que sea necesaria (Fig. 534) Puede ocurrir tambien


Fig. 534

que el hueco sea menor que el espacio comprendido entre dos piés derechos, y entonces lo que se hace es, sencillamente poner dos vertillos por debajo de la puente (Fig. 235) que reduzcan aquel espacio á las dimensiones que debe tener.


Fig. 535

Supongamos, por último, que el hueco ha de ser de grandes dimensiones: en primer lugar, no podrá emplearse una carrera de las ordinarias, con tanto mas motivo cuanto que, por lo general, este hueco no se reproduce en los pisos superiores; las soluciones que entonces pueden adoptarse son:

1ª Reforzar la carrera, que puede ser una pieza enteriza, siendo evidente que las zapatas habrán de quedar entonces un poco más bajas que cuando se emplean para carreras piezas cachadas. Algunas veces se ponen dos carreras superpuestas, ligadas entre sí por medio de pasadores, y bien labradas puesto que, por lo general, quedan al descubierto.

2ª Si no bastare hacer lo dicho anteriormente, se puede javalconar la carrera, teniendo en cuenta que si a (Fig. 536) es el punto donde vienen á parar los javalcones, á la misma altura deben establecerse las puentes para contrarrestar el empuje de aquellos; dispuesta así la carrera pueden cargarse

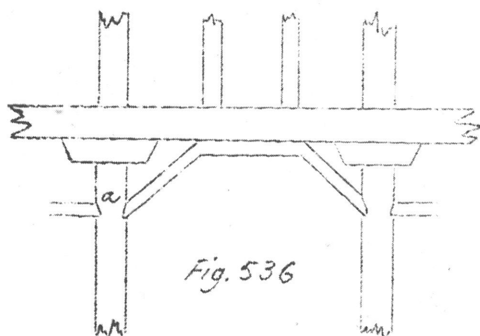


Fig. 536

sobre el vano los piés derechos de la parte superior.

3ª Descargar la carrera haciendo que solo graviten sobre ella los maderos de suelo llevando las cargas superiores á puntos convenientes. La disposición entonces adoptada es la que se indica en la figura 537, y de la sola inspección de la misma se desprende que la parte que aparece rayada en los pies derechos, podría suprimirse, y aún colgar la carrera por medio de bolsones como el A. En el caso á que nos referimos tienen gran aplicación las vigas armadas.

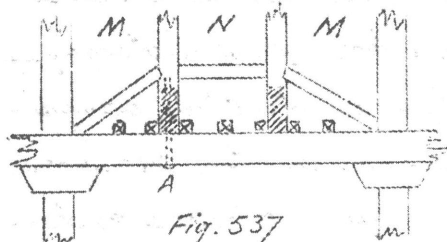
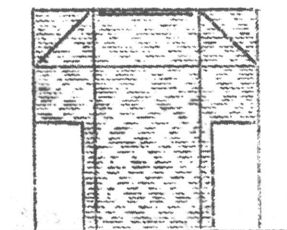
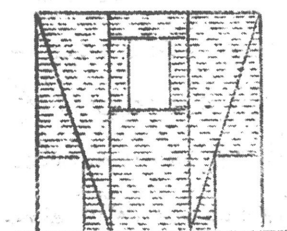
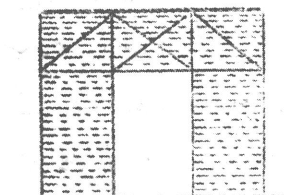


Fig. 537

Dentro de la misma solución cabe una infinidad de casos particulares; por ejemplo, si se quisiera dejar diáfanos los espacios MM de la figura anterior, no podrían establecerse los javalcones, como tampoco la puente si se quisiera lo mismo con relación al espacio N. En estas circunstancias caben otras combinaciones, como la indicada en diagrama en la fig.ª 538, y aún la que corresponde á la la fig.ª 539, diferenciándose la disposición que esta señala de la anterior en que se acude al empleo de tirantes, que no han de ser precisamente varillas de hierro, sino riostras con bolsones. Cabe, tambien, componer el entramado como si fuese una viga armada, mixta de madera y hierro, y colgar la carrera inferior (Fig. 540). Si el espacio de que se dispone no da lugar

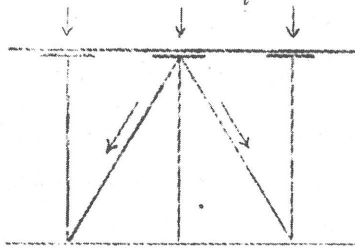

Fig. 538


Fig. 539


Fig. 540

á desarrollar el entramado se toman dos pisos. Todas estas combinaciones van perdiendo importancia al presente, y cuando se quiere colgar un entramado se apela al hierro.

Puede ocurrir, finalmente, que los pies derechos no vengan á plomo unos con otros; es evidente, entonces, que algunos de ellos cargarían sobre los vanos de las carreras: para evitarlo lo que se hace es descargarlos con el auxilio de tornapuntas que transmiten la carga á puntos fijos y convenientes (Figura 541) y de este modo desaparece la mencionada dificultad.


Fig. 541.

II. Tabicados.

El tabicado es un elemento mediante el cual se convierten los entramados en cerramientos.

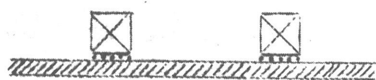
Para conseguir este objeto lo mas sencillo sería clavar simples tablas sobre las piezas del entramado, ya fuese por una sola de sus caras ó por las dos, y es lo mejor colocarlas oblicuamente porque arriostran mas; cuando se ponen dos espesores, pueden clavarse las tablas que forman uno de ellos en sentido horizontal ó vertical, y las del otro á 45°. Si se emplea la tablazón por los dos haces del entramado, el hueco que entre sí dejan se puede rellenar con alguna substancia aisladora y de poco peso, como cascote, ladrillo par-

do, materiales huecos, etc. Cuando se quiere aligerar mucho la construcción se sustituyen las tablas con listones entomizados y se da estuco de yeso.

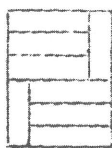
Hay que tener en cuenta que la madera merma, y esto se traduce en hiendas; para evitarlo deben tomarse las siguientes precauciones:

1º Hacer el tabicado de cascote con yeso, que al fraguar aumenta de volumen; se entomizan todas las piezas y se les da de mano con yeso para que luego agarre mejor este material, y se coloca después un tablero adosado á las caras de los maderos que forman haces para obtener de esta manera un paramento perfecto.

2º Hacer que los movimiento que puedan tener los piés derechos sean independientes de los del tabicado; para conseguirlo se guarnecen aquellos con un tegido de caña (Fig 542) que se clava sobre ellos, y es el que recibe el guarnecido, haciéndose lo mismo con las demás piezas del entramado.


Fig. 542

Cuando se emplea el ladrillo para tabicar suelen presentarse complicaciones por la dificultad de acordar las dimensiones de aquellos con las escuadrías de los maderos. Si la diferencia entre unas y otras es de $\frac{1}{4}$ de pié se alternan los ladrillos de canto con los de plano (Fig. 543), pero es de advertir que se hacen ladrillos especiales cuyas dimensiones se adaptan á los diversos marcos de las maderas, y suelen ser huecos para disminuir su peso. También


Fig. 543

se construyen piezas de cascote menudo y yeso en forma de grandes témpanos.

Caben otras disposiciones cuando el entramado va á quedar al descubierto, lo cual es muy racional teniendo en cuenta que así se conserva la madera en mejores condiciones. En este caso necesitan los maderos estar labrados por su cara anterior, y llevar en los cantos los correspondientes baquetones, chaflanes, etc. Es natural que se haga la combinación del entramado de tal manera que resulte cierta simetría y regularidad de proporciones.

Se presenta aquí una dificultad, que es la unión del tabicado con los piés derechos: como quiera que la tomiza no puede rodear el madero mas que por tres ó dos caras, hay que sujetarla con clavos llamados tabaques, y luego se la dá de mano; pero es mejor introducir el tabicado en el pié derecho como indica la figura 544, ó establecer los listones ó tapajuntas a (Fig. 545), para que cubra la hienda que tiende á producirse; en este caso la tomiza se coloca en cruz en la cara lateral del madero; y por último, también se adopta el procedimiento de clavar en dicha cara lateral, listones entomizados (Fig. 546) que se introducen en el tabicado, pero subsiste la necesidad del tapajunta.



Fig. 544



Fig. 545

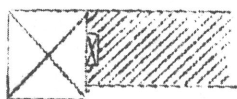


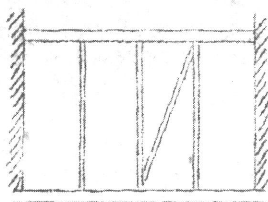
Fig. 546

Resulta, en resumen, que la disposición mas acertada es la primera que se ha indicado.

Tabiques de distribución

Los tabiques de distribución se diferencian de la pared propiamente dicha, en que su objeto no es el sostener cargas, sino subdividir las crujías que las paredes forman. Han de ser ligeros para que no carguen con exceso los suelos, y respecto de esto hay que distinguir dos casos: 1º Que el tabique sea normal á la dirección de los maderos de suelo, de modo que se apoye sobre varios de estos; y 2º Que sea paralelo á dicha dirección, en cuyo caso no podrá apoyarse mas que en un solo madero, y entonces será preciso, ó que este tenga dimensiones mayores que las ordinarias, ó engatillarle con otros, ó descargar el tabique por medio de un arco que deje libre la viga.

Los tabiques pueden ser entramados ó no; los primeros producen hiendas, no así los segundos. Para construir estos entramados hay que emplear serradizos, puesto que el espesor del tabique, incluyendo el guarnecido, es de unos siete á ocho centímetros. Se hace uso, pues, de listones, de 2 pulgadas de canto y 4 de tabla, empezándose por poner aldavias, piezas horizontales recibidas en las traviesas, y otras verticales recibidas en el techo y suelo, y se clavan despues los listones á media madera (Fig. 547). Si hubiere puertas hay que romper la aldavía inferior, pero se tiene la precaución de


Fig. 547

de hacerla corrida y luego se corta.

También cabe emplear tornapuntas para descargar, que se entoniran como las demás piezas.

Antes de dejar el estudio de las paredes entramadas, vamos á hacer una ligera comparación con las de fábrica, para deducir después las ventajas é inconvenientes de unas y otras.

Las paredes entramadas han perdido, en rigor, mucha de la importancia que en otro tiempo tuvieron; sin embargo, hay que reconocer en ellas los siguientes ventajas:

1ª Ocupar menos espacio que las de fábrica.

2ª Gran facilidad para abrir huecos en cualquier lugar, mientras que, como se recordará, en las traviesas de fábrica es preciso observar cierta correspondencia entre los huecos de los diferentes pisos y que el macho de carga sea de suficiente sección para el esfuerzo que va á soportar, si no se hace preciso el empleo de otros elementos, como arcos de descarga, arbotantes, etc. En las paredes entramadas no hay que tener en cuenta nada de esto.

3º Mediante los entramados se obtiene un atado mas perfecto entre todas las paredes del edificio.

Las ventajas de las paredes de fábrica son:

1ª Los materiales que se emplean son mucho menos perecederos que la madera, la que fácilmente se destruye por la acción de la humedad, del fuego y de otras causas naturales.

2ª La facilidad de poder alojar en su espesor los conductos de humos, que ya no es preciso que estén alejados de los piés derechos.

También cabe discutir la cuestión económicamente, y ver en cada caso particular la mayor conveniencia de emplear una ú otra clase de paredes, teniendo en cuenta que si bien las de fábrica ocupan mas que las de madera, en estas hay una pérdida de espacio por los tambores de chimenea, que se hacen indispensables para alejar las subidas de humo de las piezas del entramado.

Soportes de madera

No tienen importancia y en rigor no pueden considerarse como independientes de la pared. Ocurre algunas veces que las travesías no pueden tabicarse para que el espacio quede lo mas diáfano posible, y entonces queda reducido el entramado á la carrera y al apoyo. Veamos como se resuelve ahora la cuestión de invariabilidad.

La triangulación de los espacios por medios distintos de los ya estudiados; por ejemplo, pueden emplearse jabalcones que vayan del pié derecho á la carrera, obteniéndose así un ángulo invariable, y es tambien posible jabalconear la zapata al pié derecho (Fig. 548) siendo los ensambles sencillas esperas. Cabe, por último, establecer los jabalcones invertidos ab, pero esto no siempre podrá hacerse si se quiere que los espacios entre los piés derechos queden libres.

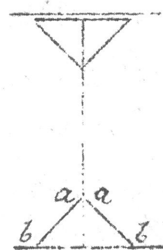


Fig. 548

Para encontrar una solución mas satisfactoria

debemos observar que el movimiento que tiende á producirse depende mucho de que la unión del pié derecho con la carrera se ha hecho, lo mismo que en la base por medio de un botón; para obtener mayor rigidez deben emplearse carreras dobles que vengan á coger en forma de cepo los piés derechos, los que, de este modo ya no se asientan sobre las carreras, sino directamente unos sobre otros (Fig. 549); por este procedimiento se obtienen, además de la indicada, otras ventajas, siendo la mas importante la de que se evita que al apoyarse los piés derechos sobre las carreras, como ocurre en la disposición anteriormente descrita, pudiera suceder que, concentrándose las cargas en determinados puntos de aquellas llegarían á doblarlas, ocasionando deformaciones, que sumándose en los diferentes pisos del edificio, darían lugar á que estos se desnivelasen y se produjeran grandes presiones, lo que no puede tener lugar si los piés derechos descansan directamente unos sobre otros según se ha dicho.

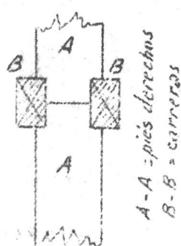
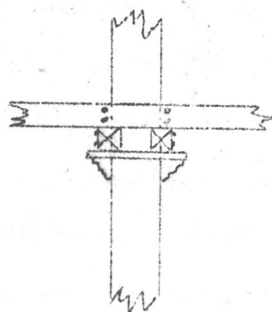


Fig. 549

Entre cada dos piés derechos se coloca una platina de hierro colado, provista de un taladro en el que penetra el botón del pié derecho superior; luego se entallan las carreras y se las sujeta con pasadores. (Fig. 550)

Si hubiera posibilidad de ello, al llegar al pié derecho se reemplazarán los maderos de suelo por carreras dobles, cogidas tambien por pasadores, haciéndose así mas difi-


Fig. 550

cil toda deformación.

El sistema expuesto es de gran aplicación en algunos casos, como, por ejemplo, cuando se trata de un local para almacenes, y cabe su combinación, cuando las condiciones del caso lo permitan, con grandes zapatas pavalconadas. (V. las láminas).

Los piés derechos pueden ser formados de diversas piezas justapuestas, cuatro, por ejemplo, de tal modo establecidas que se vayan alternando las juntas; dos de dichas piezas llegarán solo al piso principal, las otras hasta el piso segundo, y así sucesivamente (Figura 551), combinando el todo con el pavalconado como si se tratare de un pié derecho enteriso.



Fig. 551

En la actualidad todo esto ha perdido importancia por el empleo del hierro.

Resulta, pues, que los elementos de que podemos disponer para establecer los soportes de madera, son:

1.º Pavalcones que vayan á la carrera.

2.º Zapatones pavalconados

3.º Carreras dobles y piés derechos pasantes.

4.º Piés derechos formados con piezas justapuestas.

Aleros

La función que desempeña el alero ya nos es conocida; sirve para protejer la parte de muro que no queda cubierto con la armadura, sostener la lima ó

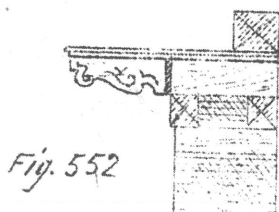
canalón y cubrir la fachada. Es evidente que una cornisa de madera no podrá ser construida como una de piedra, y vamos á ver cual es la disposición que en aquella debe adoptarse.

Los aleros se clasifican de dos maneras, según que estén formados por las prolongaciones de los tirantes ó por las de los pares.

I. Alero formado por prolongación de tirantes.

En rigor no hay tal prolongación, pues harían falta maderos de mayores dimensiones; lo que se hace es emplear trozos de madera labrados aparte que se ponen á continuación de los tirantes, acusándolos al exterior, pero que, repetimos, no son prolongación de estos.

Veamos ahora como se construyen estos aleros. Se empieza por coronar el muro de un solerón, sencillo ó doble convenientemente asentado sobre nudillos, pudiendo acusarse ó no todo esto al exterior según convenga (Fig. 552), sobre dicho solerón se clavan los trozos de madera antes citados y que, como hemos dicho, vienen en prolongación de los tirantes; estos maderos se designan con el nombre de canecillos. Entre cada dos de estos se acompaña con fábrica que por lo general no se deja aparente, y se establece la tabica ab (Fig. 553) á manera de metopas, ya horizontal ó inclinada, y engargolada en los costados de los canecillos.


Fig. 552

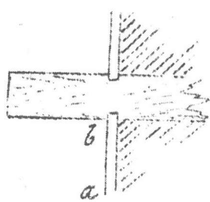


Fig. 553

Es muy frecuente coronar los canecillos y tabicas con una moldura, pero que no se saca de la misma, sino que el canecillo va liso, y encima se pone una tabla, que

es la que lleva la moldura y que se llama tocadura. Sobre la tabica (Fig. 554) va tambien un liston llamado saetin, provisto de la misma moldura, pero teniendo cuidado de dejarle los correspondientes ingletes para los ajustes. Encima de esto se clava lo que llama zófito, que es una especie de cubierta horizontal, á modo de pequeño techo, en los espacios que quedan entre los canecillos (Fig. 555), y luego viene el cimaceo ó coronación, detras del cual se establece el estribo de la armadura, ya sea formando una lima, ó poniendo los consabidos falsos pares que lleven el agua al canalón; el cimaceo se corta con corte á la berengena, ó puede establecerse una balaustrada, en cuyo caso corren las aguas entre esta y el tirante.



Fig. 554

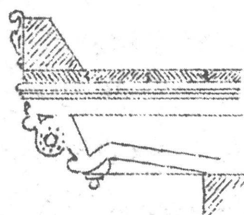


Fig. 555

Vamos á tratar ahora del caso en que haya de darse al alero un vuelo extraordinario, ya sea por tratarse de climas muy lluviosos, ya por exigirlo el caracter del edificio; es evidente que en este caso habrá que darle al canecillo mayor vuelo y reforzarle por tanto, lo que se puede hacer de dos modos: 1.º formando el canecillo con dos ó tres piezas agrupadas, convenientemente enclavijadas y volando unas sobre otras (Fig. 556); 2.º formapuntando el canecillo sencillo con un jabalcon (Fig. 557), pudiéndole cuajarse el espacio abc con tabla calada; cabe también la combinación de ambos sistemas. Puede ocu-

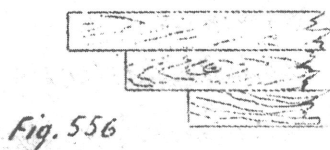


Fig. 556

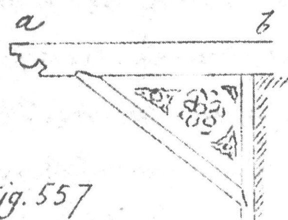


Fig. 557

rrir que haya necesidad de enzoquetar los canecillos, y esto se hace facilmente por medio de tarugos ensamblados en los costados de aquellos, escalonándolas si se quiere (Fig. 558). El zófito no puede ser, en este caso, de tabla, pues, naturalmente, ha de haber juntas, y aunque se hagan las uniones con ranura y lengüeta, la madera siempre merma y da lugar á que aparezca dicha junta; esta cuestión es difícil de resolver, pues no basta el empleo de tapajunta; únicamente lo que cabe es doblar el zófito contrapeando las juntas y hacer algún colado, ó formar un bastidor como para una puerta, con sus largueros y demás piezas, cuajando los entrepaños con azulejos, piezas de barro cocido, etc. (V. las láminas)

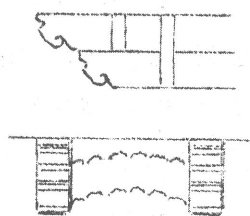


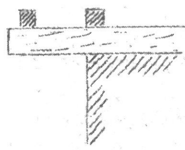
Fig. 558

II _ Alero formado por prolongación de pares.

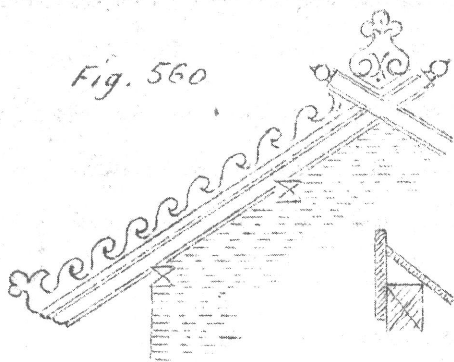
La diferencia esencial de estos con los anteriores consiste en que los canecillos quedan inclinados mientras que en aquellos eran horizontales; se emplean cuando hay frontones y veamos como se forman.

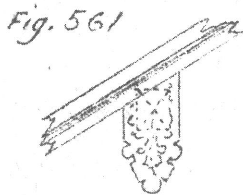
Claro es que pudieran prolongarse todas las correas, pero esto no es aceptable porque las distancias no son las convenientes; es preferible prolongar solo aquellas que sean necesarias, por ejemplo una en la cumbrera y dos en la base, y sobre ellas apoyar contrapares con corte á picadero y labrados puesto que van á quedar al descubierto, y en estos elementos se clavan las tablas.

Hay que tener cuidado de colocar un contrapar

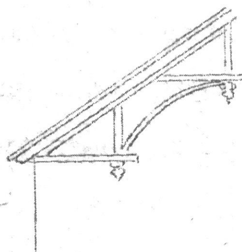

Fig. 559

al enrás de la pared, solo con un ligero saliente, para que sirva de coronación á la misma (Fig. 559). Si la cubierta es de pizarra hay que procurar que el viento no la levante, para lo cual se cubre esa parte con una tabla clavada, suplementada en los extremos, y por la parte superior se prolonga poniendo algo de ornamentación (Fig. 560). La sección de la correa no debe quedar al aire, y se cubren con tablas colgantes, caladas y decoradas (Fig. 561)

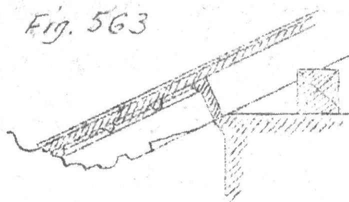

Fig. 560


Fig. 561

En el caso de que el alero de este tipo haya de tener gran importancia, no puede fiarse la estabilidad del conjunto solamente á los pares; es preciso crear verdaderos cuchillos de armadura para reforzar aquellos elementos (Fig. 562) é impedir la deformación. Los espacios a b c pueden cuajarse con tabla calada (V. las láminas)



En los costados del edificio es evidente que el alero se formará por la prolongación de los pares y no de las correas, como ocurría antes cuando se trataba de las paredes terminadas por frontones.


Fig. 563

La tablica puede ser vertical ó normal á los pares; esta última disposición es la que da

mejor aspecto al alero, según se ve en la figura 563.

Citaremos, finalmente, otra clase de aleros que nacen del empleo de las armaduras llamadas de par y tirante, cuyas ventajas quedaron enunciadas cuando hicimos su estudio. Este alero puede formarse por medio de canecillos que sean prolongación de las piezas a (Fig. 564), colocados á conveniente distancia. Si al mismo tiempo se procura acusar la cabeza del tirante b, se puede tener un friso muy decorativo.

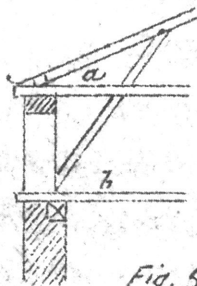


Fig. 564

CONSTRUCCIONES AUXILIARES Y PROVISIONALES

Tienen verdadera importancia por la grave responsabilidad que arrojan sobre el Arquitecto, toda vez que de la buena disposición de unas depende que no se arriesgue la vida de los operarios, y del acertado establecimiento de las obras que no se derrumben las construcciones; entre las primeras figuran los andamios, y entre las segundas las cimbras y apeos.

Andamios

Su objeto es establecer vuelos á diferentes alturas, donde los operarios puedan trabajar con comodidad y sin riesgo para su vida, y que al mismo tiempo sirvan para depositar el material que pueden gastar en cierto tiempo, por ejemplo, en medio día. Generalmente se ha-

cen de madera, que por su elasticidad y facil corte en formas apropiadas, se acomoda mejor que hierro á este objeto.

Los andamios se clasifican en dos grupos: 1º de albañil ó ligero, cuando para establecerlos no hace falta el carpintero de armar; y 2º andamios de carpintería de armar.

Dentro del primer grupo hay lugar á distinguir tres clases: I. Andamios para trabajar en superficies verticales. II. Andamios para trabajar en superficies horizontales. III. Andamios volantes para trabajos ligeros.

1º Andamios de albañil

I. Para trabajar en superficies verticales.

Se componen de una serie de postes verticales ó almas, que se empotran en el terreno á una distancia de 1.m12 á 1.m40 de la pared y entre sí á 2 metros ó 7 piés; en estas almas y con mechinales que se abren en la pared, se aseguran piezas horizontales, llamadas puentes, que se sujetan con cuerdas de esparto, y sobre ellas se colocan tablones, sujetos tambien con lías. Las puentes se situan cuando ya el operario no puede trabajar cómodamente desde el suelo. Entre un orden de puentes y otro, suele haber una distancia de 1.m75, y á medida que la obra va elevándose pueden quitarse los tablones, pero no las puentes, que hacen falta para dar seguridad al andamio, y por si hay que hacer despues alguna nueva operación, como la de enfoscar; no importa tanto quitar los tablones, porque no afectan á la esta-

bilidad del conjunto, y en caso necesario se colocan fácilmente de nuevo. El empalme de las almas se hace por medio de un fuerte atado ó ligado con lías (Fig. 565), debiendo procurarse que el alma superior descanse sobre la puente; es frecuente consolidar el empalme con algún clavo.

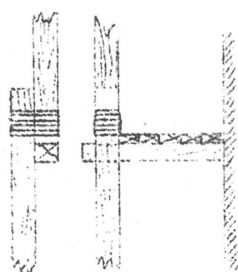


Fig. 565

Los tablones deben estar sacados de piezas anchas, medias varas, por ejemplo, y han de tener de cuatro ó cinco centímetros de espesor para evitar accidentes, y á este mismo fin no han de tener nudos ni otros defectos. Estos tablones se unen unos á otros sin ranura ni lengüeta, adosándolos simplemente por el canto, y por los extremos se solapan y atan convenientemente, apoyando en las puentes la unión.

Si el andamio tiene importancia, puede suceder que se produzcan movimientos en sentido longitudinal; para prevenirlos se emplean riostras, que son simples sencillos, las cuales, formando cruces de San Andrés, unen las almas entre sí.

El sistema que queda descrito tiene algunas variantes; en efecto, puede ocurrir que no se pueda ó no se quiera abrir mechinales en la fachada; en este caso se aprovechan los antepechos para sujetar á ellos las puentes si vienen á buena altura, y si así no sucede, se pone en el interior de la habitación un virotillo casi vertical y bien acuñado, y á éste y al alma exterior se ata la puente, que saldrá por uno de los huecos de la fachada (Fig. 566). En el caso de no ser posible este procedimiento

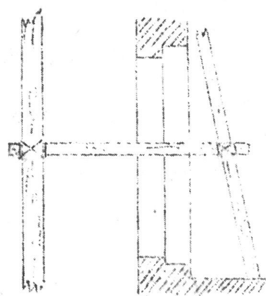
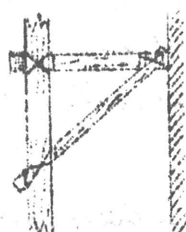


Fig. 566


Fig. 567

pueden emplearse palomillas (Fig. 567), ó poner una série de almas adosadas á la fachada, pero generalmente no es necesario.

II. Andamios para trabajar en planos horizontales

Se componen estos andamios: 1º de las piezas inclinadas ab (Fig. 568), llamadas parales, que se apoyan en el suelo y en las paredes de la habitación; 2º de las puentes cd, que, como siempre, son horizontales, y se sujetan á los parales: 3º del tablonaje que se coloca directamente sobre las puentes. Puede, además, ser necesario el empleo de los virotillos ef para reforzar algunos puntos de las puentes, sobre todo cuando hay que hacer empalmes en su longitud.

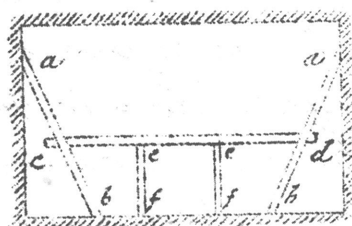


Fig. 568

La distancia á que deben colocarse estos andamios del techo, está dada por la altura del operario mas unos cinco ó seis centímetros. Si revisten gran importancia se ponen riostras y tornapuntas, teniendo, como siempre, especial cuidado con el tablonaje, á fin de que tenga la debida resistencia.

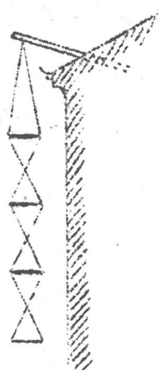
Claro está que abriendo mechinales en las paredes opuestas, estos andamios se simplificarian mucho, pero generalmente no conviene abrir estos mechinales.

III. Andamios volantes.

No estan sujetos á reglas, y sirven para trabajos pro-

visionales, como colocación de miradores, etc.; su fundamento es, por lo general, una puente, que se saca por un hueco de la fachada y se asegura á virotillos establecidos en el interior.

Al grupo que estudiamos pertenece el andamio del revocador; al establecerle hay que tener en cuenta que para llevar á cabo un revoco no hacen falta ni numerosos operarios ni gran cantidad de materiales. El andamio se cuelga del tejado, para lo cual se sacan unos pescantes, a b, (Fig. 569) que se aseguran á los tirantes de la armadura, y si es necesario se consolidan con virotillos; de estos pescantes se cuelgan por medio de lías unos tablones anchos de pié y medio, y de estos primeros se cuelgan otros del mismo modo. Como quiera que el andamio podría aproximarse demasiado á la fachada, es necesario establecer unos trozos de madera llamados Despidientes, que se sujetan á los tablones en dirección normal al muro, los cuales al apoyar sus cabezas en este impiden que se le acerque el andamio.


Fig. 569

Además de los mencionados se necesitan otros elementos, como son zoquetillos ó rollizos pequeños para unir los tablones entre sí, y que á la vez sirven para clavar en ellos los listones que forman el antepecho para protejer á los operarios, cuyos listones hacen al propio tiempo el oficio de riostras é impiden los movimientos del andamio en sentido longitudinal. Siempre que se pueda deben aprovecharse los huecos de fachada para sacar puentes que descarguen la superior, jabalconándolas si es necesario.

Finalmente, hay otros andamios volantes, como los que suelen emplearse en los patios; para construirlos se sacan percantes por la parte superior, y luego, por medio de poleas y cuerdas de cáñamo, se hace subir ó bajar el andamio á la altura conveniente (Véanse las láminas)

2º Andamios de carpintería de armar.

Se emplean para todas las operaciones que pueden presentarse durante la construcción de un edificio, incluso la elevación de sillares.

Vamos á suponer el caso de que se trate de establecer un andamio para construir una fachada de cuatro ó cinco pisos. Puede decirse de un modo general que entre el andamio que vamos á estudiar y los descritos en el grupo anterior, no hay otras diferencias esenciales que las nacidas de la mayor importancia de aquel, que exije mas rigidez, y, por tanto, mayor escuadría en las piezas de que se forma.

Se empieza por establecer almas verticales, á una distancia del muro que varía entre 1m50 y 1m80, y separadas entre sí unos dos metros, aunque esto depende de la situación de los huecos, pues debe procurarse que las almas queden situadas enfrente de ellos. Las piezas que ahora se emplean son escuadradas, y los empalmes han de hacerse muy bien por medio de lo que se llama apreste, que consiste en emplear almas dobles formadas de diversos trozos según su longitud, teniendo cuidado de que los dos primeros sean de distinto largo para que las juntas queden alternadas;

sobre la cabeza de cada trozo se asienta á plomo el siguiente, consolidándose la unión por medio de pasadores con preferencia á los clavos, pues estos rajan la madera y son peores de sacar. Para recibir las puentes se ponen egiones (Fig. 570) en los que aquellas descansan, y se unen al alma con un pasador; el otro extremo de las puentes se fija en los antepechos, repisas, virotillos, etc, ó en otras almas, y en último caso se apoyan en palomillas á 45° ensambladas en la puente y en el alma.


Fig. 570

Han de sacarse los tablones de medias varas muy sanas y sin nudos saltadizos.

Para completar las solidez del conjunto son indispensables las riostras, haciéndose el ligado por traviesas horizontales apoyadas sobre egiones á la altura de las andamiadas, y por cruces formadas de serradizos que triangulan los espacios rectangulares; hay que tener en cuenta que, excepto las riostras y antepechos que pueden ser de serradizos, todos los elementos han de ser enterizos; así las almas serán de rollizos, y las puentes de maderos, etc. También debe tenerse gran cuidado de no cargar las andamiadas con exceso.

Lo que precede es suficiente cuando se trata de fábricas de ladrillo, pero si en la obra se emplean piezas de sillería es necesario reforzar el andamio duplicándole, por ejemplo, esto es, poniendo uno exterior y otro interior, y coronándolos con carreras situadas á la misma altura, sobre las cuales corre una grúa de carro para elevar los sillares, que de este modo no se deterioran ni deterioran á los demas; el sistema es caro, pero muy bueno. Deben aprovecharse

todos los huecos de la construcción que convengan para establecer uniones entre los dos andamiajes.

Hay otro procedimiento aplicable al mismo caso: consiste en preparar una parte del andamio, que puede ser la central, formando un castillejo, por el cual se elevan los sillares y con rodillos se transportan sobre el muro ya construido. El castillejo se forma colocando en el interior unas almas que se correspondan con las exteriores; se ligan unas á otras con puentes y riostras, resultando un tronco de pirámide que en la parte superior sostiene dos piezas horizontales en las que á su vez se apoyan otras dos transversales que sirven de asiento á la máquina elevadora que se empleé. La operación resulta de este modo mas pesada, y se corre el riesgo de que los sillares se deterioren.

Andamios transportables ó movibles.

Se emplean, por ejemplo, para reparaciones de una longitud y altura considerable, tal como la de la nave de una iglesia, etc. Se componen, generalmente, de una torre de madera asentada sobre rodillos de acero, y que se pone en movimiento por medio de un torno. Los cuatro ángulos de dicha torre son otras tantas almas, que forman un tronco de pirámide, ligadas entre sí con puentes, travesas y riostras.

Andamios giratorios.

Como su nombre indica son aquellos á los que se

puede imprimir un movimiento de rotación, se emplean para las cúpulas. Su construcción consiste en un sector de andamio que gira alrededor de un eje apoyándose en la cornisa si esta ofrece la resistencia necesaria. (V. en el tratado de carpintería de Emy, Andamio para la restauración del Panteon).

Cimbras

Son construcciones provisionales destinadas á sostener las bóvedas durante su ejecución. Las condiciones que deben exigirse á una cimbra son la solidez y la economía; la primera es necesaria é indispensable, pues toda deformación de la cimbra produce una irregularidad en la bóveda; la segunda condición debe exigirse en todas las construcciones provisionales.

Se compone una cimbra de dos partes esenciales, á saber: 1º. de un cierto numero de cerchas (camones si son pequeños) de forma igual á la sección de la bóveda, colocadas según esas secciones, paralelas entre sí, y á una distancia media de $1^m.50$ á $1^m.80$; 2º. de un enlistonado que, apoyándose en el borde de los camones ó cerchas, forman el molde de la bóveda. No es necesario siempre que la superficie así obtenida sea contínua, como sucede cuando se emplean sillares para el dovelaje, pues entonces basta colocar correas aisladas ó costillas clavadas en los cantos de las cerchas en correspondencia con las líneas de jun-

ta que siguen continuas en el sentido horizontal; otras veces, por el contrario, es preciso guarnecer el enlistonado continuo con yeso para tener una superficie perfecta.

Las formas de las cerchas pueden ser muy distintas, dependiendo, como es consiguiente, de la curvatura y dimensiones de las bóvedas, pero todas pueden agruparse del siguiente modo: 1º cerchas recojidas, que solo tienen dos puntos de apoyo, ó sean los arranques de la bóveda; estas cerchas tienen la ventaja de dejar mas libre el espacio, pero en cambio son mas elásticas; 2º cerchas fijas, cuando además de los dos puntos de apoyo citados tiene uno ó mas intermedios; y 3º cerchas que podemos llamar mixtas, porque si bien los cuchillos solo se sostienen sobre los arranques, se refuerzan con algun apoyo intermedio durante la construcción de la bóveda.

La disposición de las cerchas varía segun la luz de la obra; pueden ser simples tablas puestas de canto, ó llegar á constituir verdaderos cuchillos armados, como ocurre en los puentes. Para el arquitecto las luces que por lo general se presentan rara vez pasan de cinco ó seis metros.

Los camones para luces pequeñas pueden formarse, como ya dijimos, ó de tablas que se unen por listo-

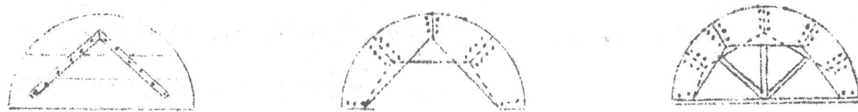


Fig. 571

nes ó por una doble hoja, reforzandole, si conviene, con una pieza vertical y otras oblicuas (Fig. 571). El enlace

de las piezas se hace por medio de clavijas ó de clavos.

Tratandose de mayores luces, las cerchas se componen de dos partes: una resistente y de forma invariable constituida por las piezas ac y bc (Fig. 572), que la ab atiranta impidiendo la deformación del conjunto.; la otra parte consta de varias piezas m, n, que afectan la forma del arco y se apoyan sobre las anteriores.

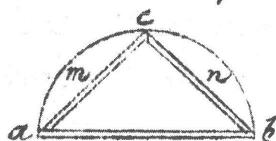


Fig. 572

Cuando la luz de la bóveda llega á ser de alguna importancia es preciso adicionar en las cerchas el pendolón ab (Fig. 573), bien sea de una pieza ó de dos yustapuestas, en cuyo caso encepan las otras en el extremo, y debe reforzarse con pernos.

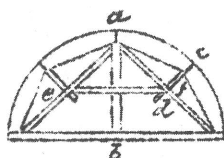
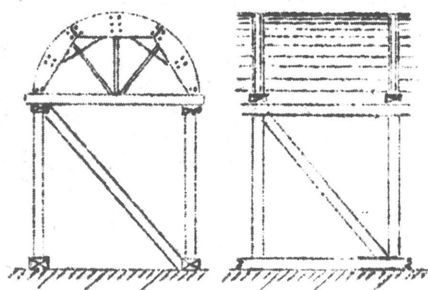


Fig. 573.

Si las piezas oblícuas ó pares resultaran de exesiva longitud, se les apea en un punto intermedio por las manguetas cd, que convienen sean de cepo, y en las que, ó vienen ya las tablas, ó reciben nuevos pares secundarios. Al propio tiempo, para evitar que las manguetas doblen los pares, se coloca la pieza ef paralela al tirante, y que se llama falso tirante ó puente.

Algunas veces, por ser necesario conservar diáfano el espacio, se suprime el tirante y parte del pendolón, formando las restantes piezas un sistema triangulado, y, por tanto, invariable.

Las cerchas pueden asentarse sobre postes aislados, ó, lo que es mejor, sobre una solera ó carrera C, y esta, á su vez sobre virotillos ó pies derechos apoyados en el terreno natural, y si esto no basta


Fig. 574

para su debida sujeción, sobre otra carrera (Fig. 574)

Como quiera que las diferentes piezas que componen una cercha no trabajan del mismo modo, es necesario el arriostrado para compensar esas diferencias de trabajo, tan notables que puede haber pieza que trabajando por tensión al empezar á formarse la bóveda, resulte comprimida cuando esta se halla próxima á cerrarse. Se arriostra, pues, en primer lugar, el plano de la cercha y después en el sentido del eje de la bóveda, bién por medio de puentes que unan puntos simétrico de las cerchas, ó por medio de piezas oblicuas. (Véase lo dicho al tratar de las bóvedas modernas de piedra, páginas 61 á 68)

Terminada la bóveda hay que proceder al descimbramiento, y la primera cuestión que se presenta es saber la época en que este debe verificarse. Aconsejan unos que se practique inmediatamente después de cerrada la bóveda para que esta pueda tomar facilmente su posición de equilibrio estando aún el mortero fresco; otros, por el contrario, dicen que con este procedimiento pueden producirse movimientos tan bruscos que pase la bóveda, en virtud de la fuerza viva adquirida, de la posición límite de equilibrio, produciéndose su derrumbamiento; pero en cambio, si el mortero está completamente endurecido puede ocasionarse la rotura de la bóveda. Por consiguiente, lo que conviene es no dejar fraguar el mortero por completo antes del descimbramiento, sino que debe hallarse en un estado medio de dureza. No puede fijarse tiempo para ello, pues depende de la estación en que se opere, de la magnitud de la bóveda y de la calidad

del mortero.

La operación del descimbramiento debe ejecutarse con lentitud y de tal modo que el constructor, dominándola por completo, pueda detenerla en el instante en que las deformaciones que siempre se producen adquieran gravedad. Para lograr este objeto se han ideado diversos aparatos: lo mas sencillo sería picar con un formón los piés derechos, pero así, á mas de estropear la madera no se logra la lentitud ni el dominio de la operación. Se obtiene mejor resultado estableciendo dos soleras, separadas unos treinta ó cuarenta centímetros verticalmente, y entre ellas se colocan los aparatos de descimbrar, que pueden ser formados por dos cuñas invertidas (Fig. 575), y sujetos provisionalmente con un alfiler. Mejor procedimiento que este, en cuanto al resultado, es que las dos soleras estén labradas á modo de endentado, con cuñas que se aflojan en el momento oportuno (Fig. 576), produciéndose entonces el deslizamiento de una solera sobre otra, y por tanto, la separación de la cimbra con gran lentitud. También se emplea el tornillo con muchísimas variantes, con la tuerca en la pieza superior ó en la inferior, ó formando un cuerpo intermedio, en cuyo caso necesita estar atenajada en dos sentidos. Son tambien de uso general los cilindros de palastro y los sacos llenos de arena cuarzosa; en estos se pone un pequeño obturador para dar salida todo lo despacio que se quiera; en los cilindros entra á manera de émbolo un tarugo de madera de diámetro muy poco menor que el de aquel; esta

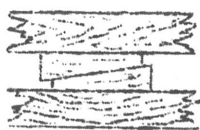


Fig. 575



Fig. 576

pequeña diferencia se cubre con arcilla, y el todo con una tela embreada para preservarlo de la humedad.

Finalmente, se aconseja el empleo de excéntricas con objeto de que la separación de las dos soleras se verifique con lentitud; se coloca entre estas el cojinete con la excéntrica, la que se atraviesa con una chaveta cuando se quiere que permanezca inmovil en una posición. (Véanse las láminas).

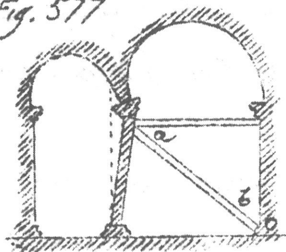
Apeos.

Apear quiere decir sostener peso; en construcción significa sostener provisionalmente. Su objeto es, pues, sostener partes de la construcción, ó sustituir elementos sustentantes para su reparación.

Los apeos tienen para nosotros una importancia excepcional y exijen gran atención; para su establecimiento es preciso saber construir y darse cuenta exacta del oficio que desempeña el elemento de sustentación que se va á quitar y su relación con los demás.

Las reglas que hay que tener presentes para un apeo son: 1ª Es condición indispensable que no produzca acción directa, ó como dice Violet, que sea neutro; por ejemplo, en una iglesia de tres naves, en la que las bajas han empujado (Fig. 577) y ha habido movimiento de las columnas si se pusiere la tornapunta ab, se obtendría un efecto contrario al que se

Fig. 577



desea, á causa del giro que dicha tornapunta puede hacer alrededor del punto o; si en lugar de esto se establece un acodalamiento dispuesto de tal modo que el giro no pueda efectuarse, se tendrá un apeo preventivo, capaz de sostener los elementos superiores cuando se quite la columna para reemplazarla por otra nueva. 2ª Los materiales empleados han de ser de muy buenas condiciones, la madera enteriza y muy sana, sin que esto quiera decir que se excluye el hierro, pero aquella reune ciertas condiciones que la hacen muy recomendable para este uso, pues da facilidad para los ensambles, y su elasticidad es una ventaja muy grande en los apeos. Para vigas de mucha longitud debe emplearse el pino, y para piezas que hayan de sufrir grandes compresiones, el roble y el castaño.

Los problemas que pueden presentarse en los apeos son cuatro: apear un macho, un suelo, una bóveda y un arco.

Apeos de machos con cargas verticales. Se emplea el apeo llamado de asnilla; para establecerle se empieza taladrando el macho por la parte sana y encima de la que se va á desunder, y ese taladro, ó taladros, se introducen una ó mas piezas horizontales, aa (Fig. 578), que se llaman asnillas, y se sostienen por las tornapuntas b, y aún por piés derechos c; las primeras nunca deben suprimirse, pues podría iniciarse algún motivo hácia afuera, que si no estuviese contrarrestado comprometería la estabilidad del conjunto.

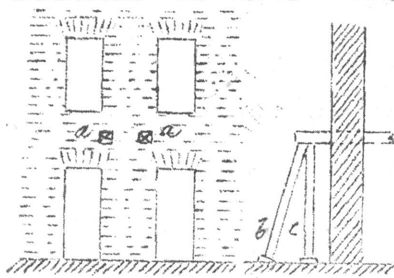


Fig. 578

Dichas tornapuntas han de estar solidamente asentadas sobre el terreno, para lo cual se ponen dur-

mientes inclinados que reparten la presion sobre el suelo, y á ellos se clavan las tornapuntas convenientemente acuñadas, empleando en estas operaciones la barra en lugar del mazo para evitar vibraciones. Cuando el terreno no ofrece bastante resistencia, se pone doble fila de durmientes, cruzándose unos con otros, formando una especie de emparrillado; si esto no es suficiente se hace un macizo de hormigon, ó se abren pozos hasta encontrar terreno firme y luego se macizan. Lo mismo se hace para el asiento de los piés derechos cuando existen. Se ha propuesto tambien, para consolidar el terreno, el empleo de pilotaje, pero no es conveniente, porque las vibraciones producidas por los golpes del mazo al hincarlos podria precipitar la ruina; lo único que puede hacerse es hincar el pilote acompañado de un chorro de agua que va separando el terreno, y un pequeño mazo es bastante para acabar de hacer la introduccion; pero es preferible emplear pilotes de rosca.

Hay que advertir que en el interior de la construccion puede escusarse la tornapunta, toda vez que no es de presumir que la fábrica se incline hácia adentro por impedírselo los maderos de suelo, armaduras, etc.

Una vez dispuesto el apeo como se ha indicado, puede ya procederse á la demolicion del macizo para su reconstruccion, pero sin olvidar que no basta apear el macho ruinoso, sino todas las demás partes de la obra que de él dependan, como suelos, armaduras y huecos, ya sean terminados por dinteles ó por arcos.

Apeos de suelos de madera ó de hierro. Hay que apear todas las vigas por medio de sopandas y piés derechos (Figura 579); las sopandas a han de estar en inmediato con-

tacto con las mismas vigas, para lo cual se quita el cielo raso en la parte que sea necesaria, y se sostienen por

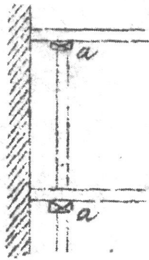
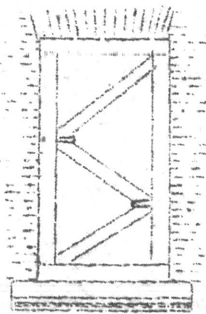


Fig. 579

virotillos convenientemente acuñados y que unas veces atraviesan por los espacios que dejan los maderos de suelo, y otras se pone un virotillo por piso, descansando sobre el inferior. Se puede colocar, si se quiere, algún madero oblicuo para que triangule, en cuyo caso han de estar también perfectamente acuñados.

Apeo de armaduras. La disposición que debe adoptarse no difiere esencialmente de la anterior, que acabamos de describir para los suelos.

Apeo de huecos. Por lo menos producen carga, así es que se hace preciso su apeo si se ha de demoler el macho. Para ello se colocan dos piezas horizontales y otras

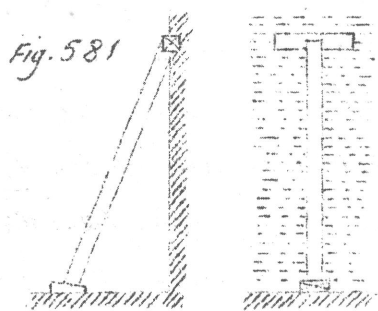

Fig. 580

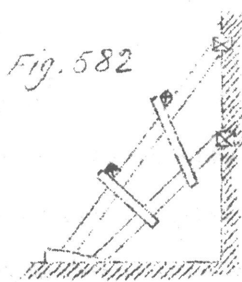
dos verticales ó virotillos, de modo que recerquen el hueco (Fig. 580). Si este es grande, puede ser necesario, para evitar que dichas piezas se muevan, hacer un acodalamiento, en cuyo caso se ponen cuñas para el apriete.

Lo que precede conduce á obtener el apeo en buenas condiciones, pero como quiera que al derribo del macho sigue su reconstrucción, hay que tomar algunas precauciones para facilitarla. Por de pronto es preciso escojer la dirección y distancia de las piezas convenientemente, de modo que no entorpezcan las operaciones que se han de ejecutar, pero además hay que tener presente que la fábrica nueva va á hacer asiento, mientras la antigua nó, y por esto es necesario hacerla muy á hueso, empleando cemento algo hidráulico, y materiales excelentes. Al

llegar á la parte superior se macizan los espacios entre las asnillas, pero se tropiera luego con la dificultad de disponer la última hilada, la que hay que introducir á martillo para que ajuste perfectamente. Terminadas estas operaciones se deja el apeo durante algunos dias, luego se desmonta y se macizan los huecos que ocuparon las asnillas.

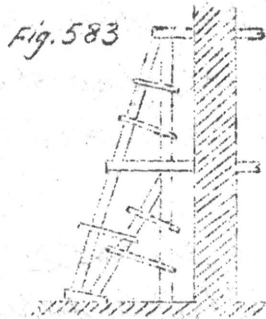
En determinados casos es preciso completar este apeo con tornapuntas que contengan las fábricas superiores, teniéndose así un apeo preventivo, análogo al que se establece en las casas inmediatas á una que se derriba; para ello se introducen en la fábrica unas piezas horizontales, llamadas muletillas, paralelas al paramento (Figura 581), en las cuales vienen á intestar tornapuntas asentados sobre durmientes como antes se ha indicado; algunas veces no basta una muletilla por ser grande la altura de la parte que se ha de apear, en cuyo caso hay que procurar que las tornapuntas no sean paralelas, y si es preciso se enlazaran entre sí con algunos cepos para triangular y obtener elementos rígidos. Si se establecen varios de estos elementos, se puede ligarlos entre sí por medio de puentes (Fig. 582), que se apoyan sobre los cepos ó sobre egiones, consiguiéndose el efecto de un contrafuerte. Las baterías pueden no ser paralelas, y sí convergentes, y cabe también arriostrarlas en forma de cruz.


Fig. 581

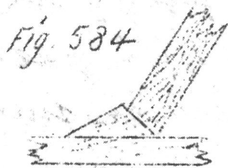

Fig. 582

En algunos casos puede ser conveniente repetir

las arnillas. Si se trata de un segundo piso, se hace un apeo para el primero y luego otro para aquel, tomando como durmientes para sus tornapuntas las arnillas del anterior (Fig. 583); se consolida el conjunto poniendo tornapuntas, riostras y puentes.

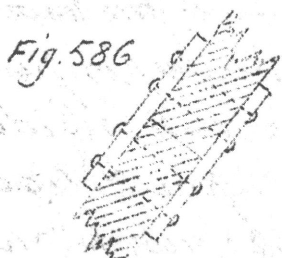

Fig. 583

Como de este modo sufre una compresión la madera, se procura que esta sea de la mas dura, y se ponen además chapas metálicas.


Fig. 584

Proponen algunos que cuando ya esté armado el apeo, se claven fuertes cuñas (Fig. 584) en el extremo inferior de los tornapuntas; otros aconsejan que se calcen con casquillos y tuercas por medio de las cuales se consigue el apriete perfecto, pero este sistema es muy peligroso porque no se puede regular el movimiento, y apretando demasiado podría llegarse hasta á descomponer la fábrica.

Una dificultad puede presentarse en esta clase de apeos, y es que si las tornapuntas han de ser de mucha longitud, no sea posible obtenerlos de una solo pieza; si el empalme es inevitable, ha de ser especial; lo mas que se puede admitir es que las dos piezas se unan á tope (Fig. 586), y envolver la junta en un forro de madera cojido con pasadores por las cuatro caras, haciéndose estas operaciones con mucho esmero.


Fig. 586

Apeos de arcos. Supongamos que se trata de apear

un pilar; lo primero que hay que hacer es apear los arcos, haciendo uso de una cimbra casi igual á la que sirve para la construccion, cimbra que, cuando se trata de sostener solo una parte del arco, no ha de ser general, bastando que se forme con la pieza curva ab (Fig. 586). Los apeos tienden á girar alrededor del punto, aprisionando cada vez mas el arco.

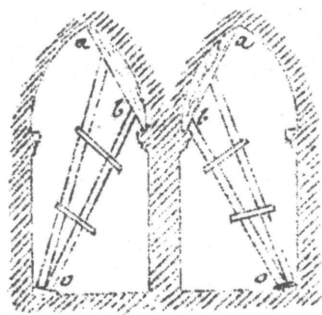
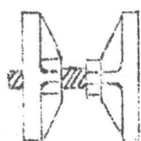


Fig. 586

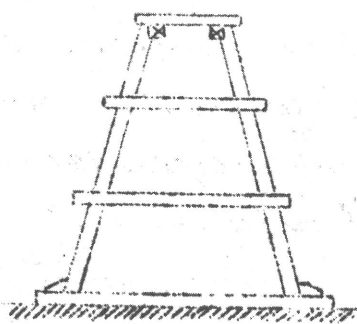
Cuando este haya de ser apeado por completo, hay que tener en cuenta que el movimiento va á verificarse en una region determinada; además, el modo de rotura va á depender de la forma del arco, y de esto dependerá, á su vez, el apeo. Si el arco es de medio punto y la clave está muy cargada, haciendo temer su descenso, se preparará la cimbra para que la sostenga; en los arcos apuntados la clave puede ser despedida hácia el exterior, y habrá que apear las partes inferiores y con codales impedir su movimiento, para lo cual se ponen dos medias cimbras y carquillos intermedios que aprieten por medio de tuercas con preferencia á las cuñas. La cimbra debe estar dividida en dos secciones, por lo menos, y entre las juntas se meten los aparatos de apriete (Fig. 587), que se hacen funcionar en cuanto se note una pequeña holgura.


Fig. 587

Supongamos ahora que se trata de reconstruir una columna aislada, que está hecho todo el apeo y que ya no gravita peso alguno sobre el pilar; este puede estar descompuesto solo en su tercio ó en toda la altura. Si se ponen las anillas en las su[p]itas

como el espacio de que se dispone es relativamente pequeño, puede emplearse el hierro por necesitar menor sección, pero no hierros especiales, porque las alas de las I ocupan mucho lugar; se ponen llantas de canto cogidas con cinchos; si las anillas fuesen de madera sería preciso hacerlas de media vara ó pié y cuarto.

Las tornapuntas no proporcionan directamente descanso á las anillas; estas se apoyan sobre las piezas superiores de un caballete (Fig. 588) al que se puede dar la forma de tronco de pirámide. Si se va á conservar todo el pilar menos el tercio inferior, que es el caso mas general porque dicha parte es la mas expuesta á la destruccion por causa de la humedad y del rozamiento, se hace tambien el caballete, y las anillas se sustituyen por una especie de cerco ó bastidor en la parte sana, perfectamente armado con ensambles, acuñado y con pasadores de hierro dulce; el capitel descansa sobre dicho bastidor y este queda sostenido por las tornapuntas correspondientes.


Fig. 588

Puede tambien haber necesidad de sostener algunos tambores por debajo del capitel; para esto se ponen en los lados del bastidor tirantes de hierro dulce que con uñas ó modillos cojen aquellos por sus lechos (Fig. 589); la única dificultad está en meter las últimas hiladas pues la holgura que hay que dejar para que entren supone luego un asiento; para que esto no suceda se acuña con chapa metálica rellenando los huecos

con cemento, sin que se oxiden las cuñas, pues aumentarían de volumen, y hay que elegir con gran cuidado los sitios en que estas se colocan, porque si solo se ponen en dos ó tres puntos se producirán desportillamientos. Proponen algunos constructores que las cuñas sean de bronce, y otros que se fíen las cargas á piezas del mismo metal, rellenando los espacios con piedras.

Siempre que se pueda debe demolerse todo el pilar, á no ser que el corazón esté sano, en cuyo caso debe conservarse, pues aunque no sirva para sostener hace que los asientos sean muy pequeños.

Los apeos se complican en algunos casos, como por ejemplo, en el de un pilar que sostiene pechina y gran cúpula (Santa Genoveva); el apeo es el de asnillas, pero estas se forman con 4, 5 ó 6 elementos de madera con hierros de I intermedios, y así se consigue el buen asiento que la primera materia da á las fábricas y la rigidez que produce la segunda. Las tornapuntas y piés derechos deben ser vigas armadas con 5 ó 6 maderos, cinchos y pasadores de hierro. Para las fundaciones se establecen grandes rampeados, y sobre esto, y recibidos en fábrica van los durmientes enlazados entre sí á manera de cepos. (Entre los apeos notables debe citarse el del Palacio ducal de Venecia. - Véanse las láminas)

TERCERA PARTE

HIERRO

I. Generalidades.

El hierro es un material de construcción que se diferencia esencialmente de los pétreos, y, si acaso presenta alguna analogía, es con los leñosos; sin embargo, las diferencias entre la madera y el hierro son notables; en efecto:

La madera se emplea según se encuentra en la naturaleza, en tanto que el hierro necesita ser preparado y su bondad depende del procedimiento que para su preparación se emplée.

La forma de las piezas se obtiene en la madera por separación de partes, en el hierro por el moldeo ó por la forja.

En la madera hay límites para las dimensiones, límites que dependen del desarrollo del arbol; en el hierro los límites son los de fabricación, y estos cada dia son mayores

La madera puede estar sometida á esfuerzos de flexión; en las piezas de hierro esto debe evitarse en lo posible, procurando que los ejes de las piezas coincidan con la dirección de los esfuerzos.

Por último, en la madera el calor puede producir la combustión; en el hierro da lugar á deformaciones que pueden tener gran importancia.

Vamos á ver ahora como se prepara el hierro; des-

de luego, no se encuentra en estado nativo en cantidad suficiente para satisfacer las necesidades de las construcciones; se halla frecuentemente en estado de óxido que es preciso reducir para obtener el hierro; se elige para ello un mineral rico en dicho metal, y se trata con carbon, poniendo capas alternadas de este combustible y de oxido de hierro en hornos hechos á propósito, y se obtiene una masa de metal ductil, maleable, que se puede trabajar con el martillo y con la lima, y que admite la soldadura. El hierro así obtenido se llama hierro dulce, y al modo de obtención procedimiento à la catalana. De la masa formada según hemos dicho se separa la escoria por medio del martinete, pero esta escoria contiene aún hierro, y cuando se quiere conseguir mayor cantidad de metal se funde aquella en altos hornos, en los que la temperatura es mayor; el hierro fundido cae en un crisol situado en la parte inferior del horno y se le designa con el nombre de hierro colado, que es muy incompresible, no se puede trabajar por la lima ni el martillo ni admite soldadura, y a diferencia del dulce, es poco resistente á la tension; se llama tambien de primera fusion, y solo se le da la forma de lingotes, que luego se vuelven á fundir en hornos de reverbero ó cubilote; sin embargo, algunas veces se fabrican objetos de primera fusion, como tubos, cojinetes, etc.

Para obtener estos objetos, ya sean de primera ó de segunda fusion, se hace el molde en un macizo de tierra, y en él se vierte el hierro, ya sea transportándole en carros ó conduciéndole por regueras. Si el objeto ha de ser hueco es preciso colocar en el centro del molde un

macho de madera perfectamente centrado, lo que se conseguirá mas fácilmente colocando el molde en sentido vertical, pues si no, como el macho da siempre alguna flecha, el espesor de la pieza no sería uniforme.

Para fabricar piezas de hierro dulce se hace uso del laminador, que consiste en dos cilindros de acero que giran en sentido contrario, y tienen practicadas acanaladuras, cuya forma se va aproximando sucesivamente á la seccion de la pieza que se va á obtener. La operación se empieza por formar lo que se llama un paquete de hierros, que por la forja han recibido la sección rectangular; luego se le dan caldas sucesivas y se le hace pasar por las diferentes acanaladuras del laminador hasta llegar á la última, en la que el metal recibe ya la forma que se deseaba.

La diferencia química entre el hierro dulce y el colado consiste en las distintas proporciones en que el carbono entra en la composición de uno y otro; esta proporción es de 1 p% en el hierro dulce, y en el colado se eleva á 3 p%.

En la fundición hay que distinguir tres clases: la blanca, la gris, y la truchada; en la primera el carbono está ligado con el hierro formando granos afacetados, y es la que se reserva para objetos que han de estar expuestos á un gran rozamiento; en la segunda el carbono, separado del hierro, se presenta en forma de escamillas; se trabaja algo mejor con la lima y es la generalmente empleada en la construcción; finalmente, la fundición truchada es una mezcla de la blanca y de la gris.

También puede obtenerse el hierro dulce produ-

duciendo primeramente el colado y quitando á éste después la conveniente cantidad de carbono en los hornos llamados de pudelaje.

Todavía existe otra clase de hierro, el acero, que no diferencia de los dos anteriores mas que en la cantidad de carbono que contiene, que es de 1'5 á 2 p%, es decir, un estado intermedio entre el hierro dulce y el colado. Los procedimientos mas usuales para obtenerle son los ideados por Siemens y Bessemer: se cofen directamente los lingotes de fundición, y por medio de corrientes de aire se quita el carbono hasta tal punto que al final hay que dárselo nuevamente en la cantidad necesaria para que resulte el acero; éste tiene como propiedades especiales el ser muy duro y susceptible de recibir el temple.

Se ve, pues, que las operaciones por medio de las cuales se produce el hierro en sus diferentes estados, no pueden menos de influir en sus condiciones, y aún dentro de una misma clase puede haber diferencias, hasta por efecto de la calidad del combustible empleado; de aquí la necesidad del ensayo del material que vaya á adoptarse en una obra.

Veamos ahora en que forma se da al comercio el hierro: Ya hemos dicho que el colado se expende generalmente en forma de lingotes y rara vez en objetos de primera fusión; el hierro dulce y el acero en barras (cuando domina la longitud y están cortados los extremos), en chapas ó palastros (si dominan dos dimensiones y tienen cortados los cuatro lados), y finalmente, en forma de hilos ó de alambres, cuando la sección transversal es muy pequeña.

Los palastros se fabrican sometiendo un paquete en caliente a un laminador. Los mayores son de 2 metros y pico por 3 m. Se distingue de la chapa en que es mas grueso así el palastro tiene energía suficiente para sostenerse vertical mientras que la chapa no. Se conoce si es homogeneo por el sonido. También debe ser de espesor uniforme y esto se comprueba por el calibrador.
El alambre es generalmente de acero y se fabrica haciendole pasar sucesivamente por orificios. Se vende con arreglo á su grueso. Se comprueba si es bueno sometiendole

á esfuerzos de torsion.
Los paquetes para la fabricacion de T I etc deben colocarse como indica esta figura. La primera viga armada que se puede componer es esta [illegible] el numero de palastros en la mitad [illegible] la longitud [illegible] 331 esto [illegible] resistencia las tubulares; y en estas hay que tener en cuenta [illegible] cuando se necesite una [illegible] que no se pueda poner [illegible] intervalos (1)

Respecto de las barras hay que distinguir dos grandes grupos, que son: 1º hierros de forma ordinaria (seccion cuadrada, rectangular ó circular); y 2º hierros de formas especiales; dentro de este último grupo se distinguen los laminados de construccion, destinados á formar parte de los elementos de una estructura (seccion T, I, L, C, Z, +, etc), y los empleados en cerrajeria (pasamanos, molduras, etc). Los límites que pueden alcanzar estos hierros y la relacion entre sus dimensiones varian segun las fábricas, aunque algo se ha procurado regularizarlo en esta última época, sobre todo á partir del Congreso celebrado en Berlin entre fabricantes y Arquitectos (é Ingenieros). Dichos límites dependen principalmente de los medios especiales de obtencion; así, en las piezas laminadas los dan, no solo el laminador sino tambien las dimensiones del horno donde las barras se caldean; pero gracias á los progresos de la industria, estos límites son cada vez mas amplios, y en los casos generales y corrientes puede contarse con las piezas necesarias para una construccion.

El primer ensamble de los antiguos es unir las piezas por una especie de clavos que entran en caliente [illegible] ó mediante el rayo de Jupiter poniendole unas abrazaderas [illegible] ó á media mecha con dos pernos [illegible] ó con resalto y dos cinchos [illegible] ó cinchos ó con un enchufado

II. Ensambles

Toda obra de hierro se compone esencialmente de una red ó entramado por medio de cuyos elementos se trasmiten los esfuerzos á puntos donde pueden ser resistidos y contrarrestados. Este entramado ha de satisfacer á los principios siguientes: 1º Invariabilidad del sistema; 2º Economía dentro del primer principio, la que se consigue, ó bien evitando el empleo de piezas

(1) como no hay en vigas de grandes dimensiones por la dificultad de fabricarlas de un solo bloque. Por esto para reforzarlas se pueden poner 2 almas [illegible]

Para cargas grandes uniformemente repartidas se pueden emplear vigas de celosías por tener los nodos muy cerca, mejor que las del tipo simple en la cual están más separados

de grandes dimensiones y formas especiales á costa de la mano de obra, ó por el contrario. La discusión del coste no tiene aquí la importancia que en la madera, puesto que las fábricas suministran cada vez piezas de mayores dimensiones, y en cambio la mano de obra tiene una importancia extraordinaria, y desde luego debe aceptarse aquel sistema en que esta sea menor; y 3º Que no haya mas que piezas estiradas y comprimidas, lo que constituye el ideal de toda obra de hierro.

Las piezas de un entramado han de quedar convenientemente enlazadas; de aquí la necesidad de los ensambles, que en principio solo fueron imitación de los que se hacen en la madera, debido sin duda á que en su origen las formas de las piezas de hierro eran sencillamente copia de las que se daban á las de madera; luego fueron desapareciendo estos ensambles, sustituidos por otros modernos, pernos, roblones, etc., que se acomodan mejor á las condiciones del hierro, sujetándose á los principios siguientes:

1º No deben imitarse los ensambles adoptados para las maderas. El esfuerzo transmitido por cada pieza debe coincidir con su eje, y la resultante de todos estos esfuerzos ha de pasar por el centro de gravedad de cada parte ensamblada.

2º Cuando en una pieza se abra un taladro habrá que reforzarla para que la resistencia en aquella parte sea la misma que en el resto de la pieza. Si se emplean roblones ó tornillos su resistencia ha de ser también igual á la de las piezas que unen.

3º En las piezas de hierro el ensamble de ángulo

no presenta ninguna dificultad, y hasta puede desaparecer dando una calda á una de las piezas. Solo se emplea en cerrajería.

4º El ensamble de caja y espiga, tal como se ha adoptado para la madera, rara vez se usa, y únicamente con la espiga cilíndrica que se hace fácilmente con el torno, así como el taladro, que se practica con el sacabocados ó con el berbiquí; este ensamble se consolida remachando la espiga ó aterrajándola.

Vamos á estudiar ahora los ensambles modernos, que se obtienen por medio de pernos y roblones, aún cuando, y por exigencias especiales, se usan otros, como son los templadores, y aún los gatillos que atirantan los muros.

Ensambles por medio de pernos. Es el perno una varilla de hierro dulce, uno de cuyos extremos termina en una cabeza prismática, generalmente de forma exagonal,(1) y por el otro en una escopleadura destinada á alojar una chaveta, ó en una parte aterrajada donde entra una tuerca; comunmente se adopta el filete triangular, reservando el cuadrangular para pernos de grandes dimensiones, que no son de uso frecuente. Hay fórmulas prácticas que nos determinan las principales dimensiones de un perno: si se llama d' el diámetro del macho central (Fig. 590) alrededor del cual se arrolla el filete (que siempre supondremos triangular), y P el esfuerzo en dirección del eje, tendremos



Fig. 590

$$P = 2.8\, d'^2 \text{ ó sea } d' = 0.6\sqrt{P}.$$

El paso es la base de un triángulo isósceles cuyo ángu-

(1) cuyo objeto [illegible] en [illegible]

lo en el vértice es de 54°; la profundidad del filete es igual á 0'96 del paso, pero como se redondea algo la arista para asegurar la conservación, queda solo para profundidad 0,64 de dicho paso.

A la chaveta se la da sección trapezoidal, pero como se desarrolla un gran esfuerzo cortante, para evitar sus efectos se emplean chavetas dobles.

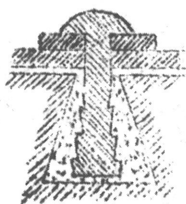
Las tuercas son de sección exagonal, para que la llave las coja fácilmente; su diámetro D se calcula en función del diámetro d del cilindro circunscrito al perno, por la fórmula $D = 5 + 1'4d$, expresado todo en milímetros, y la altura es igual d. (Fig. 591) Por la parte inferior estas tuercas tienen redondeados los ángulos por medio de planos inclinados unos 30°, con objeto de que no produzcan huellas en la plancha que sujetan, y por la parte superior suelen ser esféricas, con un radio R de curvatura igual á 3d. Finalmente, para suprimir rozamientos suele ponerse entre la chapa y la tuerca una volandera de 0'15d de altura y 1'3d de diámetro.



Fig. 591

Cuando los pernos estén sujetos á vibraciones y choques que pudieran ser causa de que la tuerca se destornille, se pone una contratuerca que sujeta la primera, y cuya altura es la mitad que la de ésta.

Otras diferentes disposiciones pueden darse á los pernos, como en los llamados de empotramiento, muy empleados para sujetar placas de fundición á las fábricas. Estos pernos terminan, por lo general en una espiga plana con picadura (Fig. 592), que entra en un hueco practicado en la fábrica y algo ma-


Fig. 592

yor que dicha espiga, y el espacio intermedio se rellena con plomo. Tomando como unidad el diametro de la varilla del perno, el ancho de la espiga en su parte inferior sera 1'5, y la caja tendrá 3.

Los pernos de empotramiento pueden terminar también en forma de T invertida, que penetra en una hendidura ensanchada por la parte inferior, y una vez introducido el perno se le hace girar media vuelta y ya no puede salir.

Por el ensamble con pernos se ponen en juego resistencias propias del hierro, como son la tension y los esfuerzos cortantes, pero ademas, presenta otra gran ventaja, que es la facilidad de movimiento de las piezas alrededor de un eje, condicion indispensable si no ha de haber mas que piezas estiradas y comprimidas, que, como hemos dicho, es el ideal que debe proponerse realizar en toda obra de hierro.

Ensambles por medio de roblones. Constituyen los roblones un sistema de enlace que aún no está dominado por completo, y que exige, sin embargo gran atencion. Se ponen en juego las resistencias á la tension y al esfuerzo cortante, al mismo tiempo que se utiliza la propiedad del remache de que es susceptible el hierro dulce cuando previamente ha recibido una calda.

El roblon es una espiga que por un extremo termina en una cabeza formada de antemano en la fragua; su longitud es variable, pero siempre ha de ser tal que, despues de atravesar las chapas que va á unir quede un sobrante para formar una segunda cabeza por medio del remache, y á esto obedece el que los roblones sean casi siempre de hierro dulce, y cualqu-

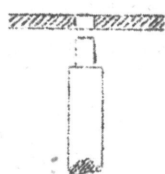
Para la forma de cabezas de roblones [illegible] lámina [illegible]

Todas aquellas partes de las construcciones en hierro que han de ser [illegible] unidas por roblones. Para unir piezas de hierro dulce el roblon puede ser de hierro dulce. La cabeza del roblon puede ser de gota de sebo fig 2 los de cabeza plana se emplean poco T; los hay de cabeza embebida T y se emplean cuando por alguna circunstancia estorban las cabezas. hay ocasiones en que es conveniente que las cabezas trabajen poco y entonces se refuerzan fig 6. Se usan algunas veces de la forma de la fig 7 para que al emplearse estas partes [illegible] parte del trabajo
Dimensiones. Su masa ha de ser suficiente para que conserve el calor durante el remache. por

no tan grande que sea difícil hacer dicho remache. Los límites máximo y mínimo están entre 10 y 25 mm de diámetro; los más empleados son de 15 á 20. La espiga debe ser tal que sobre lo suficiente para formar la cabeza; el límite máximo debe ser de 12 cm. Para la cabeza se elige una vez ó vez y media el diámetro. Hay roblones de cabeza cónica fig. 4-6-7 pero su empleo es principalmente en las calderas y no en construcción. La altura de la cabeza debe ser $\frac{5}{8}$ el diámetro y su diámetro vez y media la altura.

nos casos de bronce, por ser estos metales los que mejor se prestan á dicha operación.

El roblon se introduce y remacha en caliente; al enfriarse, como la longitud de la espiga disminuye las cabezas aprietan las chapas, y la presión que de este modo se ejerce aumenta el rozamiento, dando lugar á que, si la espiga no ha llenado completamente el taladro, no se puedan verificar movimientos por impedirlo dicho rozamiento, y aun después de vencido este quedaría la resistencia que ofrece el cuerpo del roblón. La cabeza de los roblones pueden tener diferentes formas: avellanadas, cónicas, etc. (V. las láminas). También puede hacerse la espiga en una de las piezas que se van á ensamblar, y en la chapa se hace la caja (Fig. 593) procediéndose después á hacer el remache.


Fig. 593

Nos ocuparemos ahora de estudiar por separado las condiciones del roblón y las del taladro, finalizando por la colocación en obra de aquellos, operación que se designa bajo el nombre de robladura.

El roblón.— En primer lugar, la longitud del roblón no puede exceder de ciertos límites, puesto que por el machaqueo no solo se forma la cabeza, sino también se ensancha la espiga llenando todo el hueco del taladro, lo que no se verificaría si el roblón es muy largo, quedando entonces cierta holgura que permite el deslizamiento de las chapas. Como dato práctico podemos decir que la longitud no debe exceder de cuatro diámetros, y como este no suele ser mayor de 0m025 en nuestras construcciones, resulta un largo máximo de 0m10. Para longitudes mayores deben emplearse per-

El taladro puede ser cilíndrico ó ligeramente cónico según los casos. La diferencia del diámetro con el de la espiga debe ser como máximum 1 mm. El taladro se hace más pequeño que lo necesario y luego se recorta y con esto queda más perfecto. Cuando se hacen á máquina hay que tener en cuenta

nos. En segundo lugar, la espiga ha de ser de hierro dulce y su longitud tal que el exceso de el volumen de la cabeza que se va á formar; el diámetro depende del espesor, generalmente suele ser el doble de este, lo que se comprueba cuando se hace el cálculo del punzon que ha de hacer los taladros en las chapas.

El taladro.- Se puede hacer por dos procedimientos distintos: 1.º por presión, que consiste en un sacabocados sobre el cual se golpea; este sistema es breve y económico, pero tiene algunos inconvenientes, pues como hay que vencer el esfuerzo cortante, siempre se deforman las chapas; además, el orificio resulta algo embudado por la parte superior, y en el borde inferior quedan rebabas, que si no se quitan cuidadosamente, lo que exige mucha mano de obra, impiden que las chapas se unan; 2.º por rotación de un berbiquí, procedimiento lento y caro, pero que no produce deformaciones ni deja rebabas. Cuando los taladros se hacen en sitios muy estrechos, es preciso emplear el punzón, pues si no, se producirían ondulaciones que cuando se hacen desaparecer alteran las distancias entre los ejes de los taladros y no hay coincidencia entre los de una y otra pieza.

Antes de hacer los taladros se marcan sus ejes con clarion, teniendo cuidado de que se correspondan los de las diferentes piezas que se van á roblonar, y si se advierte luego alguna descentración con el alizador se corrije. Se da al taladro un diámetro algo mayor que el del roblón.

La robladura.- Para colocar los roblones hay que darles préviamente una caldа y luego se introducen

en los taladros, dándoles un pequeño golpe de martillo. Aquí se presenta un problema: determinar á qué grado de temperatura deben estar los roblones en el momento de su colocación, lo que no es indiferente, pues si colocan demasiado fríos no puede hacerse el remache, ni la contracción al enfriarse del todo es bastante para apretar las chapas; en cambio, si la temperatura es muy elevada, puede desarrollarse después del remache tal esfuerzo que haga saltar la cabeza del roblón. Debemos hacer ahora una observación respecto de una contradicción aparente entre lo que establece la Resistencia y lo que de la práctica resulta; en efecto, se ve que un roblon se rompe mucho después de lo que debiera según la teoría, y se comprende que debe ser así porque desde luego parte del esfuerzo se consume en aproximar las chapas hasta conseguir su perfecto ajuste, y hay que tener también en cuenta que las fórmulas de resistencia se establecen en la hipótesis de que existe proporcionalidad entre las deformaciones y las fuerzas, lo que lleva á la fórmula conocida $P = R\omega$, pero aquí no hay esa proporcionalidad.

Planat ha llegado á determinar los esfuerzos que corresponden á las diversas temperaturas siguientes:

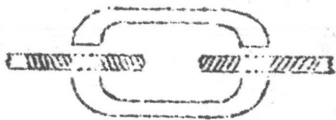
Temperaturas	50°	100°	150°	200°	250°
Kgs. por mm²	7	15	24	31	39

y como el trabajo no debe pasar de 30 Kgs. la temperatura del roblon en el momento de la robladura será de unos 150°, pero al colocarle esta debe ser mayor, teniendo en cuenta la que se pierde al contacto con las chapas frías. Para dar las caldas se hace uso de hornos portátiles.

Después de colocado el roblón en su sitio se sostiene en él por medio de palancas y se hace el remache á mano ó con máquina; en el primer procedimiento el martillo no puede exceder de cierto peso, pero la falta de este se suple con la velocidad; una cuadrilla, cuatro operarios, hacen 500 robladuras en un día; con las máquinas se ejecutan en el mismo tiempo de 1000 á 1800, y tiene también la ventaja de que el apriete se hace por las dos caras. Las máquinas que mas se usan son las hidráulicas, aunque necesitan mucha presión, vigilancia en los depósitos, etc.

Se conoce si una robladura está bien hecha por el rebote de un martillo no muy pesado, y también por el sonido que no debe ser de cascabel; si está mal hecha se quitan los roblones con un cortafríos y se ponen otros que tal vez convenga sean de diámetro algo mayor.

Tempadores.- Se emplean para enlazar dos piezas que quedan una á continuación de otra, y de tal modo que pueda variar la tensión de las mismas. Se componen de un bastidor provisto de dos tuercas aterrajadas en sentido contrario, y que también pueden practicarse en el mismo bastidor (Fig. 594): á veces se reducen á un simple manguito en cuyo interior van las tuercas. (Véanse las láminas)


Fig. 594

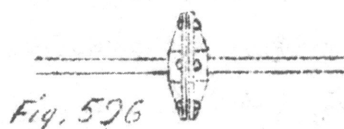
Gatillos - Se emplean para atirantar paredes ó arranques de bóvedas. Hay que procurar que la presión se reparta sobre la mayor superficie que sea posible, y á este fin se emplean planchas de fundición provistas de un taladro en el centro y reforzadas por cuatro nervios (Fig. 595), cuya altura disminuye hacia los bordes,


Fig. 595

donde es igual á la mitad del diámetro del tirante, mientras que en el centro es el doble de dicho diámetro.

Ejemplos de ensambles.

1º Prolongación de hierros ordinarios. Lo mas sencillo sería hacer la unión por medio de soldaduras, pero no siempre es esto posible por las condiciones del montaje, y hay que recurrir á ensambles mas ó menos parecidos á los de la madera, ya sea por medio de endentados, ya llevando una de las piezas una parte aterrajada y la otra la tuerca correspondiente, ya por medio de templadores, ó bien poniendo en el extremo de cada pieza una platina, que se sujeta á tope, y enlazando las dos con pernos, como indica la figura 596. Este último ensamble, llamado comunmente de brida, es muy característico de las piezas de fundición.


Fig. 596

2º Prolongación de palastros. Se ejecuta facilmente por medio de la rolladura; para ello hay varios sistemas: 1º por solapo de las chapas; esto ofrece algunos inconvenientes, pues si la espiga del roblón no llena por completo el taladro, merced al momento de las fuerzas que se transmiten según la dirección de los palastros, se inclinará el roblón y su cabeza tenderá á romperse (Fig. 597); si, por el contrario, no hay holgura, el momento de las mismas fuerzas será causa de que se doblen los palastros hasta ponerse uno á continuación, y producirá tambien la rotu-



Fig. 597

ra de los roblones; 2º por medio de una tapajunta (Figura 598), aunque también habrá tendencia á poner todo simétrico con relación al eje de las chapas; 3º tapajunta doble (Fig. 599), de modo que la suma de sus espesores sea igual al del palastro que unen. En el caso de que haya que prolongar varios de estos, colocados unos sobre otros, se procura que las juntas queden alternadas.





Fig. 598



Fig. 599

Vamos á estudiar ahora la distribución de los roblones. Si su número es pequeño, lo más racional es ponerlos en una fila paralelamente al borde, siempre que la distancia de uno á otro no sea inadmisible por lo pequeña, é igual advertencia hay que hacer respecto de la distancia entre la fila y el borde; pero si el número de roblones aumenta hay que distribuirlos en varias filas, y vamos á ver como trabajan estas, aunque solo nos fundemos en hipótesis, para deducir así el reparto de los roblones en cada una de ellas.

Se admite que en un principio solo trabaja la primera fila, y cuando esta se ha deformado entra á trabajar la segunda, y así sucesivamente; por lo tanto, parece lógico disminuir el número de roblones al pasar de una fila á otra; así, si en la primera, á partir de la junta, se ponen 3, á la segunda le corresponden 2 y á la tercera 1 (Fig. 600)

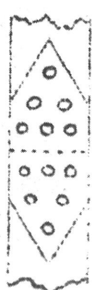
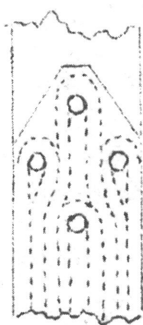


Fig. 600

Es evidente que al colocar un roblón se debilita la chapa por el taladro, y esto hay que tenerlo en cuenta para el cálculo y no dar á cada sección mas que el número

de taladros que permita su resistencia: hay que observar que si en la tercera fila se descuenta un taladro, habría que descontar dos en la segunda, pero no sucede así, puesto que parte de la fuerza ha sido ya contrarrestada, de modo que, en definitiva, en cada sección no se tiene en cuenta el número total de roblones, sino lo que aumenta este número al pasar de una fila á otra.

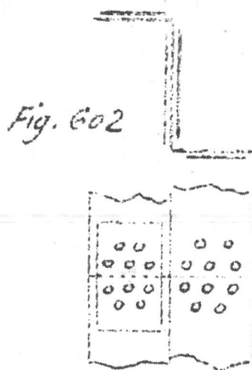
Uno de los procedimientos que hay para poder apreciar si una robladura, en cuanto á la distribución de los roblones se refiere, consiste en dividir la parte de chapa ocupada por estos, en fajas imaginarias del mismo ancho que se arrollan alrededor de los roblones, ó mejor dicho, se cuelgan de estos (Fig. 601), y la robladura está bien hecha cuando se puede trazar esas bandas sin que se corten, y además, que la resistencia que por sus dimensiones representen, sea igual á la de los roblones; así tenemos que, si el ancho de una de estas tiras se representa por b, por c el espesor de la chapa, por d el diámetro de un roblón y, finalmente, se toman como coeficiente de trabajo para el esfuerzo cortante los $\frac{4}{5}$ del de tensión, deberá verificarse que


Fig. 601.

$$\frac{4}{5} R \frac{\pi d^2}{4} = R \cdot c \cdot b.$$

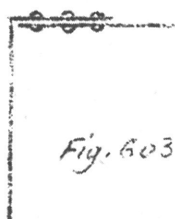
3.º Prolongación de hierros especiales – Se practica por medio de cubrejuntas, que algunas veces se hacen angulares; así tenemos: 1.º Prolongación de hierros en forma de +: se ponen tapajuntas en cada uno de los brazos, pero como quiera que este ensamble es poco práctico, por lo general las fábricas suministran estos hierros con

la longitud suficiente para sus aplicaciones mas usuales. — 2º Si es un hierro en [se ponen tapajuntas dobles en el alma y sencillas por la parte exterior de las alas. - 3º Tratándose de prolongación de escuadras, se puede poner como tapajunta un hierro laminado de forma especial, ó dos tapajuntas exteriores, pero esto último no siempre es posible, como ocurre en el caso de que la escuadra haya de adaptarse á un palastro; las tapajuntas deben ser entonces una exterior y otra interior, pero esta última hace que el ensamble no quede en tan buenas condiciones por haber una fila de roblones muy próxima al borde é inmediata también á la otra fila, por mas de que se tiene cuidado de poner los roblones al tresbolillo; la prolongación de escuadras que hayan de adaptarse á dos palastros exijen las dos cubrejuntas interiores.


Fig. 602

4º Prolongación de hierros en T: en el alma se ponen dos cubrejuntas y una en la parte exterior del ala. 5º Prolongación de hierros de I; lo mismo que la anterior, cubrejuntas dobles en el alma y sencillas exteriores en las alas; y 6º Prolongación de hierros en Z; es una variante del caso que antecede y se soluciona de la misma manera (Fig. 602)

4º Ensambles de ángulo - Si se trata de hierros ordinarios se da en la fragua una calda á uno de ellos y se forma en su extremo un codillo y ya no resta mas que hacer un ensamble en prolongación (Figura 603)


Fig. 603

Lo mismo se hace cuando los hierros son de formas especiales, cortando los trozos de ala que estorban para la plegadura. Cuando se trata de ensamblar en ángulo

dos I, se prolonga una hasta que encuentre á la otra, y se sujetan con escuadras; el mismo procedimiento puede aplicarse al caso en que una de las I se prolongue mas allá del punto de encuentro.

5º Ensamble de hierros ordinarios con especiales. El caso mas frecuente es ensamblar una varilla con hierros especiales; para ello se forja al extremo de la varilla un ojo formado por un cilindro, cuyo diámetro es igual á su altura, y con un taladro en el centro destinado á recibir un pasador.

6º Ensamble de piezas armadas. — Caben dos soluciones: hacer la junta general ó no; la primera tiene la ventaja de que el montaje es muy fácil, pero la resistencia se perjudica. En todo caso el ensamble queda reducido á enlazar cada trozo de los que componen la pieza, según las reglas que quedan establecidas.

III. Vigas armadas

Aparte de los defectos que presentan las vigas, los cuales dependen de la clase del hierro y del combustible empleados en su fabricación, hay otros que proceden de la forma de aquellas: por ejemplo: en las I el enfriamiento brusco al terminarse la operación del laminado puede hacer que se agrieten los bordes de las alas, y estos efectos se acentúan mas en los hierros de forma no simétrica, pues hay diferencia en la rapidez del enfriamiento: el laminado puede ser también causa de otros defectos, pues si las piezas que

componen el paquete primitivo tienen sus caras oxidadas, no se soldarán bien por el laminador, lo que se conoce por el sonido, ó aplicando un ácido en la sección de la pieza después de haberlo limado, y se verán aparecer las líneas de unión. También en los palastros puede haber diferencias de espesor desde el centro á los bordes, por mas que se concede al fabricante la tolerancia de unos cinco centímetros para cortar.

Ahora bien; ocurre con mucha frecuencia en construcción el tener que emplear vigas de distintas dimensiones que las usuales, y en tal caso pueden no ser convenientes las laminadas, pues debido al método de fabricación ni el nervio central ni las alas puede llegar al límite de delgadez que se necesite, y la materia queda mal repartida, como tampoco se hace en buenas condiciones el laminado de vigas de grandes dimensiones, no debiendo olvidarse que cuando estas exceden de 8m00 de longitud y 0m25 de altura se paga un sobreprecio por desperdicios. Es pues, necesario buscar otra solución.

El hierro colado no resuelve el problema, pues las vigas de esta materia no pueden tener mas que 3 ó 4 metros de longitud, y son susceptibles de defectos interiores, como granos de arena, geodas, etc., que apenas se perciben por el sonido y bastan para ocasionar la repentina fractura de la pieza, sin que la rotura esté precedida, como en las laminadas, por el alargamiento y la deformación. Finalmente, la necesidad de que el hierro pueda correr fácilmente por el molde, hace que la sección real sea mayor que la teórica, y la economía en el precio del metal desaparece por

el exceso de materia, por lo que estas vigas solo son usadas en condiciones excepcionales y en determinadas localidades por su baratura.

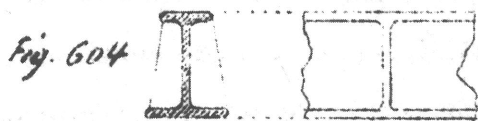
Vamos á ver cual es la seccion mas conveniente para una de dichas vigas en forma de I. Desde luego, las dos alas tienen que ser diferentes, pues una de ellas, la superior, va á trabajar por compresion, mientras que la otra lo verifica por tension, es decir, que está en mejores condiciones.

Como coeficientes de trabajo tomaremos para el de tension la mitad del de compresion; llamemos b el grueso del nervio, que deberá ser tal que permita el fácil paso del hierro en el molde; el ancho del ala superior se toma igual á $5b$, el de la inferior á $12b$; el espesor de la primera es $1'33b$, y el de la segunda $2b$; así queda el centro de gravedad al tercio de la altura. La seccion de esta viga es $92'9b^4$, su momento de inercia

$$I = 40'82b^2$$

En tales condiciones no podria fundirse bien esta pieza por los cambios bruscos de seccion, pues el hierro al enfriarse se agrietaría; para evitarlo se ponen de trecho en trecho nervios que separan las alas (Fig. 604)

Fig. 604



La diferencia en las dimensiones de las alas parece que debiera tambien tener lugar en las vigas de hierro laminado, pero en estas el ala superior, que es la que trabaja en peores condiciones, puesto que lo hace por tension, trabaja á un coeficiente comprendido dentro de los límites aceptables, y de aquí que en la práctica se hagan aquellas completamente iguales.

Vemos, pues, que el hierro colado no resuelve la cuestión para vigas de dimensiones grandes, y hay, por tanto que atenerse al hierro dulce, y formar aquéllas combinando convenientemente las diversas piezas que el comercio nos ofrece; á esta operación se llama armado de vigas.

Hay una clase de hierros que en determinadas ocasiones puede ser empleada, aunque su forma no es apropósito para resistir los esfuerzos desarrollados en una construcción, pero que, sin embargo, por su buena calidad y baratura se emplean para dinteles, umbrales, carreras, etc.; dichos hierros son las barras-carriles, cuya forma es variable, y son huecos ó macizos, pero los mas generalizados son los llamados de seta (Fig. 605), cuya altura oscila entre 0.10 y 0.13, llegando algunas veces hasta 0.20; el ancho de la platina es de 0.09 á 0.11, y el de la seta 0,06; el espesor del nervio varia entre 0.013 y 0,015. Puede unirse dos de estos carriles por las platinas, resultando una viga de gran resistencia, pero cuya materia está mal repartida.


Fig. 605

Vamos á buscar soluciones generales para formar las vigas, cualquiera que sea su altura. Se arman estas por yustaposición ó superposición, pero esta última da vigas demasiado altas y, ademas, es dificil conseguir que las componentes no resbalen en el sentido del eje, lo que no puede evitarse como en las maderas, y por efecto de la superposición la masa de metal queda mal repartida porque habrá un exceso en el alma, inconveniente que subsiste en las alas combinando como algunos proponen dos vigas horizontales. Para impedir

el deslizamiento cabe la colocación de cinchos, pero estos se adaptan mal á la forma de la sección; también pueden emplearse hierros de escuadra con entalladuras.

Por la yustaposición se obtiene una resistencia equivalente á la suma de las resistencias de los elementos componentes, los que se enlazan no para aumentar aquella, sino para que todos trabajen á la vez; para su enlace se disponen de dos en dos metros, que es lo general, cinchos previamente calculados, que al enfriarse aprietan las piezas, sin embargo de esto conviene afirmar la sujeción con algunos tornillos. En la parte interior se pone un codal en forma de cruceta (Fig. 606) que impide la deformación por la compresión del cincho. En lugar de esto puede ponerse una plancha de palastro ó de hierro colado aligerada



Fig. 606

con huecos y reforzada con un reborde cuando sea necesario, ú otro cincho interior formado con un hierro en I. Estas vigas se cuajan con ladrillo ligero macizando con cemento, lo que da un enlace mas perfecto y facilidad para cargar los muros superiores. Finalmente, pueden formarse vigas por la yustaposición de elementos de hierro y de madera, lo que, si bien tiene el inconveniente del distinto coeficiente de trabajo que admiten, ofrece la ventaja de la facilidad para el enlace con otras piezas; el armado se hace con un elemento de hierro y dos de madera, ó viceversa, cojidos todos con pernos pasantes.

Las vigas de que hasta ahora hemos hablado no satisfacen por completo las necesidades del constructor;

hay otra clase, que son las llamadas generalmente vigas armadas, formadas por la superposición y yustaposición de palastros, escuadras, etc., que resuelven el problema por completo. Se dividen en dos grupos principales: 1º vigas de alma continua, y 2º vigas de alma calada ó discontinua.

1º Vigas de alma continua. — La disposición mas sencilla consiste en poner un palastro vertical, y coser á él cuatro escuadras, con lo que tendremos armada una I; si esto no bastara, se cosen á las escuadras otros palastros horizontales que hacen de alas, y así desaparece toda dificultad, pues á mas de contarse con palastros de bastante longitud, los ensambles entre ellos son sencillos. Tanto los palastros como las escuadras deben tener de ocho á doce milímetros de espesor. Respecto á las proporciones de la seccion, se toma generalmente como altura de 1/12 á 1/20 de la luz, la que en nuestras construcciones no suele pasar de 15 metros.

Parece lógico que, á medida de que se necesite en la viga mas resistencia se aumente la altura del nervio central, pero esto no puede hacerse mas que hasta cierto límite, porque una pequeña descentración de la carga bastaría para producir alabeos; es mejor solución poner en las alas dos ó mas chapas, mas tampoco debe exajerarse el número de estos suplementos, pues es sabido que la resistencia aumenta con la mayor extension del ala, pero no tanto con su espesor, además de que, cuando este es grande, la roblladura no se verifica en buenas condiciones; la solucion debe buscarse en el mayor ancho de las tablas, conteniéndose

también dentro de los límites prudenciales por el alabeo que la carga produciría cuando no estuviese bien centrada; el vuelo no debe ser mayor de 6 u 8 veces el espesor á contar desde el borde de la escuadra, y si son varias las tablas debe procurarse que queden cortadas todas al mismo vuelo.

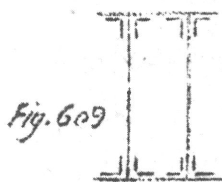
Para evitar los alabeos del alma se emplean de trecho en trecho refuerzos que pueden estar formados por piezas en [, á las que se dá la forma conveniente para que se adapten á los planos sucesivos (Fig. 607), ó se emplean placas complementarias cosidas á la vez que el refuerzo (Fig. 608) y que ganan la diferencia entre los dos planos. También puede hacerse el refuerzo con una T con el ala pegada al nervio de la viga principal.

Fig. 607

Fig. 608

Lo expuesto no resuelve, sin embargo, la cuestión mas que hasta un cierto límite, mas allá del cual habrá que buscar nuevas soluciones.

La primera que se nos ofrece es duplicar ó triplicar el alma, formando lo que se llama una viga tubular. Para nuestras aplicaciones se compone generalmente de dos palastros verticales (Fig. 609) á los que se cosen escuadras de lados iguales ó no, y que luego reciben dos palastros horizontales que constituyen las alas, de las que la inferior puede suprimirse, puesto que va á trabajar por tensión y está, por tanto, en buenas condiciones, justificada también esta supresión para lograr mayor facilidad en la soldadura, lo que siempre debe tenerse en cuenta en estas vigas: cuan-


Fig. 609

(1) do son de grandes dimensiones puede introducirse en el tubo un operario. Algunas veces se hacen las alas tubulares también, teniendo también cuidado de que no se dificulte la robladura. (V. las láminas)

En cuanto á las proporciones pueden tomarse las siguientes: altura, 1/15 á 1/24 de la luz; ancho ó separación de las alas, 1/3 ó 1/2 de la altura; ancho de la solera, 2/3 á 3/4 de la misma altura; y espesor de los palastros de las almas verticales, de 0m,008 á 0m,010.

Como por diferencias de asiento ó por otras causas puede haber variaciones en la posición de la carga, conviene no prescindir de los refuerzos verticales, que son de absoluta necesidad cuando la carga solo actúa en determinados puntos, como sucede en la viga maestra y las viguetas de un piso; siendo la carga continua, estos refuerzos se ponen á distancias comprendidas entre uno y dos metros, y á ellos es aplicable lo dicho cuando tratábamos de las vigas de alma sencilla, pero con la observación de que á cada refuerzo exterior corresponde otro interior, para lo cual en los puntos convenientes se cierra el tubo con una chapa sujeta con escuadras.

Las vigas de que nos ocupamos tienen para nosotros la ventaja grande de que en ellas se sostienen fácilmente las traviesas de los pisos superiores, para lo que no serviría una viga de alma sencilla á no haber perfecta simetría en las cargas, lo que no es posible conseguir pues depende de varias circunstancias de índole diversa.

2º. Vigas de alma calada ó discontinua. La justificación de estas vigas no está en su mayor ó menor resistencia, pues con los tipos que hasta aquí hemos estu-

diado podemos considerar como resuelta la cuestión; las razones son estas: primeramente el dar á la viga buen aspecto cuando haya de quedar descubierta, y en segundo lugar el poder construir vigas de la altura que se quiera con gran economía, haciendo que el material trabaje sólo por tensión ó compresión tanto en las piezas horizontales. En tres clases se dividen estas vigas: simples, que son aquellas en que un plano vertical corta sólo á tres barras; compuestas, las que resultan de la superposición de varias simples; y complejas, llamadas así cuando cada elemento está formado por una viga simple; pero estas no suelen tener empleo en construcción, su verdadera aplicación está en los puentes.

El diagrama de una viga simple se obtiene por la combinación de triángulos rectángulos é isósceles, teniendo en cuenta que la inclinación de las barras no es arbitraria; la mas ventajosa es á 45°, pero si esta no fuera posible no debe ser nunca inferior á 30°; así, después de haber determinado los puntos de articulación se ve cual es la inclinación resultante, y si no fuese buena se aumentan aquellos, lo que algunas veces da lugar al empleo de sistemas compuestos.

Las vigas de que se trata, que no suelen emplearse mas que para grandes vanos, se forman disponien-

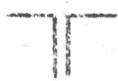

Fig. 610


Fig. 611


Fig. 612

do dos cordones horizontales, á los cuales se enlazan las piezas verticales y oblicuas; los cordones suelen hacerse

en forma de T por medio de dos escuadras (Fig. 610), pero tambien puede emplearse un hierro de la misma forma (Fig. 611), ó dos escuadras y un nervio central (Figura 612) y tambien suele coserse una tabla á las escuadras. Cuando la viga quede al descubierto y á la intemperie se forma el cordón inferior de dos partes separadas que permitan salir el agua.

Las piezas verticales y oblicuas, si la viga no es de gran altura, pueden hacerse de llanta, cosiéndolas entre los dos cordones, y si hay nervio se cose una á cada lado, teniendo cuidado de poner en el cruce una chapa de igual espesor que el nervio (Fig. 613), para hacer la rolladura en buenas condiciones.


Fig. 613

Pasando la altura de la viga de cierto límite las piezas oblicuas resultan comprimidas y hay que sustituir las llantas por escuadras ó hierros de T, la unión de estas piezas con los cordones no ofrece dificultad cuando en ellos hay nervio central pero si no hay que introducirlas entre las dos escuadras y se hace preciso cortar una de las alas de las oblicuas y ensamblar la otra ó el nervio, según se trate de escuadras ó hierros de T. El número de roblones que hay que poner en cada unión no es arbitrario y lo determinará el cálculo; ahora bien, puede ocurrir que ese número sea tal que no haya sitio para su colocación, y en este caso se adicionan chapas que aumentan el espacio disponible para la rolladura.

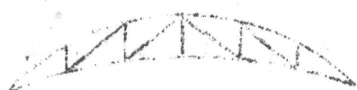
Para que solo resulten piezas estiradas y comprimidas es preciso que además de que las cargas coincidan con los puntos de unión de los cordones con las

piezas oblicuas, que se dejen esos puntos de modo que sean de articulación, y con tal objeto se debe emplear un solo roblón para unir todas las piezas concurrentes á cada uno de dichos puntos. Con igual fin y para evitar los grandes esfuerzos cortantes que de otro modo se producirían, se hace uso en algunos casos, de verdaderas articulaciones formadas por un pinzón de acero que penetra en un manguito de que van provistas las piezas.

Todo lo que se ha dicho para las vigas de alma contínua referente á refuerzos que contrarresten las desviaciones de la cargas, es aplicable aquí del mismo modo; estos refuerzos pueden ser de hierros de T ó de I.

Finalmente, pueden ser curvos uno ó los dos cordones, lo que da origen á las curvas parabólicas (Figura 614), llamadas así porque la curva suele ser una parábola; se emplean en los puentes, y su objeto es que no haya en cada sección mas que la resistencia necesaria. Nosotros solo las usamos como cuchillos, y las llamadas falciformes (Fig. 615), caracterizadas por ser los dos cordones curvos con la curvatura hacia el mismo lado. La disposición y construcción de estas vigas no difieren de las de cordones rectilíneos.


Fig. 614


Fig. 615

Asiento de las vigas.

Cuando se coloca una viga metálica sobre fábrica de ladrillo ó de mampostería hay que procurar que la presión se reparta en la mayor superficie que

sea posible, á cuyo fin se establece una placa intermedia de fundición, ó un sillar de las dimensiones convenientes.

Una vez emplazada la viga, si la temperatura aumenta se produce una dilatación que no puede verificarse libremente por estar sujetos los dos extremos de aquella, transformándose en esfuerzo en un aumento de trabajo para el material que puede llegar á sufrir notables deformaciones; para impedirlo no hay mas solución que dejar que la dilatación se opere con completa libertad. Para vigas de menos de diez metros nada hay que hacer; para longitudes poco mayores basta hacer un taladro ovalado en los extremos del ala inferior y poner un perno circular (Fig. 616). Cuando la longitud de la viga es ya considerable hay que acudir á otros medios, y pueden adoptarse diversas disposiciones; la mas sencilla consiste en que la placa de asiento tenga curva la cara superior, y la inferior provista de un nervio central para empotrarlo en la fábrica (Figura 617); estas placas se asientan sobre cuñas de hierro y los espacios que quedan se cuajan con cemento; también se ponen en las vigas cuchillos de acero que descansan en las placas; claro es que en estas condiciones el resbalamiento se verifica fácilmente y los efectos de la dilatación no alteran las condiciones de la viga. Si esta solución fuera insuficiente, se acude al empleo de rodillos de acero, de igual diámetro todos y perfectamente torneados, interponiéndolos entre la viga y la placa de asiento; de este modo se disminuye considerable-

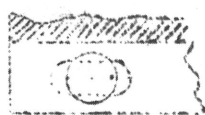


Fig. 616



Fig. 617

mente el rozamiento, que con la disposición anterior llegaría á ser muy grande cuando la viga estuviese muy cargada.

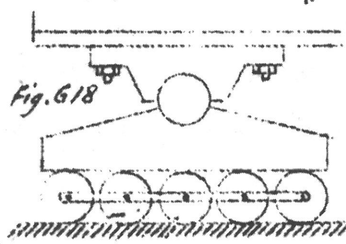
Las dimensiones de los rodillos no son arbitrarias; el número de ellos está en razon inversa de su diámetro y se determinan por la fórmula

$$P = n.l.d.R$$

en la que P designa la presion, n el número de rodillos, l su longitud, d el diámetro, y R un coeficiente constante que suele ser de 20 kilógramos por centímetro de diámetro y longitud de los rodillos. El número de estos oscila generalmente entre 5 y 8, y el diámetro varía de 0,m12 á 0,m06. La distancia entre los cilindros debe ser de dos centímetros, y para que esta separacion permanezca invariable se termina cada uno de anillos en dos gorrones que son cogidos por un bastidor (Véanse las láminas) Todo el sistema descansa sobre una placa con unos nervios para ser empotrados y otros como rebordes para impedir movimientos extraordinarios. Las proporciones de estas placas son las generales de las de asiento: relacion entre los lados, ½ á ⅓, espesor medio, 0m025; canto del nervio, 0m015 por lo menos, y la distancia entre el punto de apoyo de la viga y el extremo no debe bajar tampoco de cinco centímetros. Entre la viga y el aparato de dilatacion se pone una chapa supletoria, sujetándola con roblones de cabeza avellanada.

El empleo de los rodillos de acero no está exento de inconvenientes; en efecto, debido á la flexion que toma la viga al ser cargada, resulta que el rodillo extremo es el que mas trabaja, y muy pronto sería su diámetro inferior al de los otros; para evitarlo se adi-

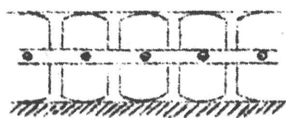
ciona una pieza intermedia, especie de balancín, que reparte la carga por igual; para esto lleva la viga otra pieza hueca donde entra la parte superior del balancín (Fig. 618), al que se da la forma de sólido de igual resistencia; para evitar rozamientos el radio del cojinete es mayor que el del cilindro del balancín, el que se calcula por una de las dos fórmulas


Fig. 618

$$r = \frac{2P}{pl} \quad ó \quad r = \frac{1'5P}{pl}$$

la primera para la fundición y la segunda para el acero; en ellas representa r el radio buscado, P la presión, l la longitud, y p un coeficiente aceptable para el hierro.

Conviene que, para disminuir el rozamiento, sea grande el diámetro de los cilindros, y á fin de que ocupen el menor espacio posible se suprime en ellos la materia innecesaria (Fig. 619) La parte que debe conservarse se calcula sabiendo la longitud de la viga y el aumento de temperatura.


Fig. 619

Como dato práctico para que se tenga en cuenta consignaremos que el alargamiento no llega en ningún caso á 0,001 L

Elementos de un edificio

Son tres, lo mismo que en la piedra y en la madera: techo, soporte y pared.

Techo

Dos oficios puede desempeñar este elemento: ó sirve para la separación de dos pisos, en cuyo caso se llama suelo, ó está destinado á sostener la cubierta del edificio, y entonces se llama armadura.

1º Suelos

Se dividen en dos grandes grupos: I.- Suelos de hierro completamente incombustibles, y II- Suelos mixtos de madera y hierro.

I.- Suelos completamente incombustibles. Dentro de este grupo hay que considerar tres clases: suelos formados con vigas y planchas de hierro; suelos formados por un emparrillado de hierro con relleno de boles, bovedillas, etc., y, finalmente, suelo formados con un emparrillado de hierro y bóvedas de alguna importancia que las anteriores.

Suelos formados de vigas y planchas de hierro. No tienen para nosotros gran aplicación porque no establecen una separación completa entre los pisos, y solo se usan para establecimientos industriales. Se for-

man con viguetas de hierro y se cubren los espacios con planchas del mismo metal roblonadas á las alas de las I, y para evitar que estas se debiliten se pone un fishel de escuadra con entalladuras y se cosen á él las chapas con roblones de cabeza rehundida. Se aconseja para este objeto el empleo del palastro ondulado por ser mas resistente y dar mayor momento de inercia; los senos se rellenan con cascote y encima se colocan las baldosas. Algunas veces se sustituye el palastro por pizarra ó por losetas de vidrio estriadas ó cuadriculadas, lo que tiene la ventaja de permitir la iluminación de los pisos inferiores; se dispone para ello un emparrillado de vigas de hierro, y los espacios se subdividen con hierros de rebajo en los que entran las losetas, que se cojen con cemento, dejando algo de holgura ó haciendo que queden más altas que el nervio del rebajo.

Suelos formados con un emparrillado de hierro y relleno de botes, bovedillas, etc.- Son de mucha aplicación en Arquitectura pero mas complicados que los anteriores, puesto que para mayor fijeza y seguridad se unen las vigas del entramado por elementos transversales de menor importancia, constituyendose así un emparrillado cuyos huecos se rellenan con botes, rasillas, cascote, etc., hecho todo con gran cuidado.

Recordemos, aunque muy á la ligera, cual fué el origen de estos suelos. En su principio, á fines del XVIII siglo, solo se atendió á preservar los edificios del incendio, y como entonces no se conocian los hierros de formas especiales, se armaban los elementos del suelo con pletinas ó llantas, según la importancia de aquel.

Suelos antiguos. Se componía cada elemento de un arco, un tirante inferior, una pletina tangente en la parte superior, cinchos colocados de trecho en trecho



Fig. 620

y virotillos intermedios para impedir las variaciones y movimientos de las piezas (Fig. 620) (V. las láminas) Todos estos elementos se colocaban normalmente á la crujía, y luego, perpendicularmente á estos, otros que terminaban en un gancho (Fig. 621), y si se quería reducir aún mas los espacios se ponían varillas paralelas á los primeros y sobre las que se apoyaban los botes que entonces se usaban mucho para rellenar. Este sistema resulta caro por la mano de obra, pero en la época á que nos referimos no cabía otra solución.

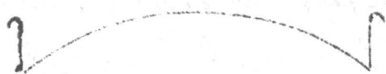


Fig. 621

Suelos De Vaux. - Este herrero frances ideo sustituir los elementos componentes del suelo anterior por llantas puestas de canto, evitando así mucha mano de obra. A estas llantas se les daba una ligera curvatura en sentido contrario al de la acción de la carga, quedando reducido el trabajo del herrero á abrir en forma de patillas los extremos de estas piezas (Fig. 622), pero como obrando la carga sobre el pequeño canto de las llantas se hubiese cortado el ladrillo, repartió Vaux la carga en mayor superficie estableciendo un pequeño barrón debajo de cada viga. Además, como las llantas pudieran doblarse lateralmente, para evitarlo se colocaron enganches de cuadradillo (Fig. 623) normales á las primeras, teniendo cuidado de hacer uno por lo menos de los enganches al pie de obra



Fig. 622

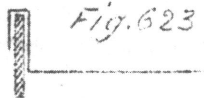


Fig. 623

para el perfecto ajuste; estos cuadradillos sirven también para subdividir los espacios, y si se quiere que las subdivisiones sean aún más pequeños se ponen otros cuadradillos normales á los primeros y atados á ellos con alambre. Las llantas suelen tener de 0m11 á 0m13 de altura y de trece á quince milímetros de espesor, colocándose á unos sesenta centímetros unas de otras; á igual distancia se ponen los cuadradillos, que tienen de lado 0m015 ó 0m020. Todas las piezas deben prepararse con un par de manos de minio, mejor de hierro que de plomo. El forjado puede hacerse con botes, y cuando el suelo haya de ser entarimado sobre rastreles puede reducirse el forjado á poner por la parte inferior unos tablones á modo de cimbras, sujetos con virotillos ó colgados, luego se dá de yeso y se echa cascote ligero, formando una especie de bovedilla invertida (Fig. 624) que sostiene el cielo raso, el hueco que queda, muy favorable para el mayor aislamiento, puede aprovecharse para el paso de tubos de caloríferos. Para el forjado completo no debe usarse el cascote, sino botes, ladrillos hechos á propósito, ó piezas especiales y huecas, formadas de cascote y yeso.



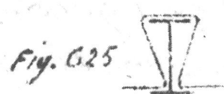
Fig. 624

Suelos modernos.— En realidad son los de Vaux, sustituyendo las llantas por hierros especiales con mejores condiciones de resistencia; de suerte que un suelo se compondrá de una serie de vigas paralelas apoyadas en los muros y enlazadas por otra serie de enganches, en los que, cuando sean necesario, se sujetan los cuadradillos que subdividen los espacios resultantes.

La primera cuestión que se presenta, es el asiento de las vigas en los muros; si hay cadena de sillares sobre ella se apoyan, en caso contrario se ponen cuatro ó cinco hila-

das de ladrillo cogidas con cemento ó adoquín. Es de uso general, aunque no lógico, el empleo de una carrera de madera, en razón á que al mismo tiempo que reparte la carga, facilita el clavado y atiranta los muros. También puede ponerse debajo de cada viga un trozo de llanta, y lo mejor sería establecer una general, pero resulta caro y debe reservarse sólo para el caso de que se quiera atirantar los muros. Por último, se emplea algunas veces un trozo de cabilla que atraviesa todas las vigas, ó una de cada dos, por las alas si es vertical, ó por el alma si es horizontal.

Supongamos el caso más frecuente, ó sea aquel en que las vigas sean de la forma I; para un suelo de 5 m. es bastante que éstas tengan 0m 25 de altura, 0,08 de ala y 0,008 de espesor medio; el empotramiento le haremos de 0.25, la distancia entre vigas 0,80, la misma que entre los cuadradillos de enganche, cuyo lado mide 0,02, y 0,008 el de los de división. Colocadas ya las vigas y convenientemente empotradas, si el forjado que se va á emplear no acodala es preciso poner enganches; las disposiciones adoptadas para esto son muchas, é indicaremos sólo las más usuales.


Fig. 625

Roussel emplea cuadradillos que contornean la I (Fig. 625)


Fig. 626

Bleuze propone sujetar las alas de las vigas á una llanta, sobre la que van los cuadradillos (Fig. 626)


Fig. 627

En Francia se usa el procedimiento llamado de pernos de cuatro tuercas, pero exige mucha mano de obra y debilita las vigas (Figura 627)


Fig. 628

En Madrid se enroqueta en varios puntos del ancho de la crujía, amoldando los roquetes á los I, sistema que tiene la ventaja de facilitar el clavado de los listones y cañas del cielo raso (Fig. 628)

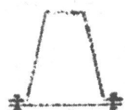
El procedimiento inglés consiste en acodalar provisionalmente las vigas y rellenar luego los huecos con un macizado de cemento y arena gruesa ó escoria y carbonilla de modo que sobresalga, unos cuatro ó cinco centímetros sobre las alas; resulta un suelo en el que las vigas quedan perfectamente conservadas, pero es muy pesado.

Todo lo que dijimos respecto al forjado del suelo sistema Vaux tiene aplicación á los de Roussel, Blenze y francés, tanto para los pavimentos de baldosa como para el caso particular del entarimado. Cuando se trata del procedimiento empleado en Madrid, los huecos que quedan entre las vigas y los tarugos pueden rellenarse con bovedillas dobladas de rasilla, las que se enjutan con cascote para facilitar el asiento del embaldosado.

Hay que observar que en todos estos suelos, exceptuando los del sistema inglés, el ala inferior de las vigas queda al descubierto, y como la fábrica no se une bien con el hierro pudieran producirse grietas en el cielo raso y las manchas consiguientes á la oxidación del metal. Además, como la parte inferior de las vigas queda al descubierto, en caso de un incendio está expuesta directamente á la acción del fuego, y pueden producirse notables deformaciones que acaso den lugar á la ruina de los muros. Para evitar el primer inconveniente se han ideado distintos procedimientos, como el de empapelar las vigas; lo mas eficaz, en los suelos que hemos dicho se emplean en Madrid, es clavar á los tarugos una tira de

cañizo que corre por debajo de la viga y aisla, por decirlo así, ésta del cielo raso. Para protejer los hierros contra la acción del fuego hay tambien varios procedimientos; lo mejor es emplear piezas especiales de cemento que protejan el ala inferior de las vigas; el forjado se apoya luego en dichas piezas, cuya forma es muy variada, y que pueden quedar resaltadas y utilizarse como elemento de ornamentación.

Zorés ha propuesto una forma especial de hierro, que han tomado su nombre, y que reunen las mismas condiciones de resistencia que las I. Como vigas de un suelo pueden ser empleadas con ventaja sobre estas, pues ocupan menor altura, no necesitan enganches y la inclinación de las caras facilita el asiento de las bovedillas (Fig. 629), mientras que las I, cuando su separación es algo considerable, obligan al empleo de piezas especiales de hierro, barro ó cemento como veremos mas adelante. El único inconveniente que presentan estos hierros, aparte de ser caros, es la tendencia á abrirse, pero esto se evita facilmente atirantando sus dos ramas con llantas en dos ó tres puntos de la longitud de la viga. El forjado puede ser cualquiera de los ya descritos.

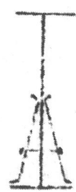

Fig. 629

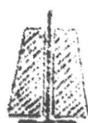
Ya hemos dicho como se evitan en los suelos de hierro los efectos de la oxidación y del calor, pero queda por citar otro inconveniente que tienen, que es la imperfecta unión del hierro con la fábrica, y á esto responden los suelos llamados ingleses, en los que las vigas quedan envueltas completamente por aquella, pero ya hemos dicho que resultan muy pesados. El último esfuerzo hecho para resolver este problema es el suelo de hormigón: cada

elemento se forma de un paralelepípedo de dicho material que lleva hacia su cara inferior, que es la que trabaja por tensión, una série de varillas de hierro dulce, convenientemente distanciadas unas de otras, y para que no puedan salirse se las enlaza lateralmente por otras piezas también de hierro, ó, lo que es mas sencillo, se las retuerce en la misma fragua. El suelo se hace por zonas enlazándolas con cemento refrescando antes las juntas. De esta manera se resulta un suelo en que la materia principal es el hormigon, y el hierro solo entra como un elemento auxiliar, y cuyas condiciones de duración y solidez son aceptables.

Suelos formados con piezas de hierro y bóvedas de importancia.- En estos suelos no sucede lo que en los anteriores, que las bóvedas solo servian de cerramiento, sino que entre ellas y las vigas se reparte la funcion del suelo. La disposición general de este se reduce á dividir la crujía en tramos por medio de vigas paralelas y equidistantes entre sí, y en los espacios que quedan se establecen las bóvedas, cuyo espesor es por lo menos de medio pié.

Respecto á las vigas suele emplearse las de I, aunque no es esta forma la mas apropósito para sostener la bóveda, y de aquí la necesidad de construir piezas especiales que por un lado se adapten á la forma de la viga, y del otro presenten una cara inclinada que haga el oficio de salmer (Fig. 630) Estas piezas pueden ser de hierro colado (como en los mercados de Madrid) sujetándolas á la viga con un perno, pero resultan muy pesadas, y es preferible el uso de ladrillos especialmente construidos para este objeto (Fig. 631)


Fig. 630

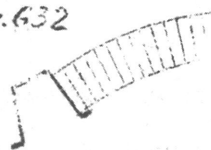

Fig. 631

También se ha buscado otra solución por la

medio de las mismas vigas de I, pero cuya mitad inferior del alma se desdobla en dos planos inclinados, procedimiento que está completamente en desuso. Los hierros Zorés resuelven la cuestión perfectamente, pero ya dijimos que eran caros.

Supongamos que se trata de una crujía de seis metros y que se colocan las vigas á distancias de 1m10; cada entrevigado se cubre con una bóveda de cañón, pero dada su gran longitud con relación al ancho, pudiera suceder que se perdiera la hoja, y al temor de que esto ocurra obedece la práctica de dividir la bóveda en trozos por medio de arcos fajones, resaltados ó no, y que pueden estar á dos metros de distancia, por ejemplo, quedando así espacios de 2m00 × 1m10 que ya pueden cubrirse en mejores condiciones con la bóveda de cañón; es de muy buen resultado el aparejo bizantino ó del oblicuo, con anillos curvos, y siempre que la altura disponible lo permita pueden emplearse también pequeñas bóvedas baídas.

Hay que advertir que todos los arcos fajones han de estar en prolongación unos de otros para que se contrarresten mutuamente, y como los que van á parar á los muros no encontrarán muchas veces por falta de espesor en estos resistencia bastante á su empuje, se pone para recibirlos una pieza especial de hierro (Figura 632) que, á costa de su deformación, neutraliza dicho empuje (V. las láminas).


Fig. 632

Puede emplearse una especie de cofinete, una gran escuadra, un hierro Zorés ó cualquier otro elemento que resista á la flexión lateral. Esto hay que tenerlo en cuenta hasta en las bóvedas de rasilla hueca.

Suelo de la Bolsa de Berlin. — Los sótanos que están situados por debajo del salón al cual corresponde este suelo, están destinados á imprenta, de suerte que no importaba obstruirle con columnas, y de aquí la disposición especial adoptada. Formando una cuadrícula de tres metros de lado se emplazaron las columnas coronadas con una pieza especial de hierro colado en forma de cuádruple salmer ó sea un tronco de pirámide, convenientemente ahuecada y sujeta con un reborde al ábaco del capitel; luego se voltearon arcos fajones siguiendo las líneas de la cuadrícula, y los compartimientos que así se formaron fueron cubiertos fácilmente con bovedillas baídas, cuyo aparejo mejor es el de espina de pez, y los senos resultantes se rellenaron con cascote para recibir el embaldosado.

Suelo del Museo de Berlin. — Siendo condición precisa que el espacio quedase diáfano, se construyó en este edificio un suelo de hierro colado que, aunque no debe imitarse, es digno de estudio para ver lo que puede conseguirse con una buena ejecución así como con las buenas condiciones en que se funde el hierro en Berlin.

Las galerías donde se emplazó este suelo tienen 9.m 70 de luz, y estando destinadas á recibir grandes pesos efecto de los pedestales y esculturas que sobre él cargan y no teniendo los muros mas que un metro de espesor, vamos á ver como se tuvieron en cuenta estas condiciones especiales. Se empezó por dividir las galerías en tramos de 4.m 70 por medio de un sistema de vigas principales y sobre estas se apoyaron viguetas á 1.m 10 de separación, resultando así compartimientos de 4.m 70 × 1.m 10 que fué fácil cubrir con bovedillas.

Con objeto de aligerar y obtener formas mas conve-

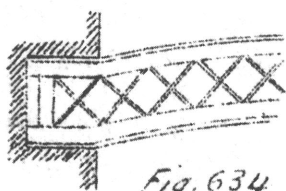
nientes para la resistencia, se dió á las vigas una ligera curvatura, amitándolas por medio de dos grandes patillas sobre los muros. La sección de estas vigas viene á ser la de una T, pues si bien el ala inferior existe, tiene muy poca importancia (Figura 633). El arco así establecido empujaría al muro, que no tiene la necesaria resistencia, sino se colocaran dos tirantes, uno por cada lado del alma, que destruyen el empuje (V. las láminas). Dichos tirantes se obtuvieron laminando un haz primitivo de 10 ó 12 varillas de hierro dulce; cada uno de ellos termina en una tuerca, pero como sería difícil asegurar que los dos tuvieran la misma tensión, las tuercas no descansan directamente sobre la viga, sino que hay una volandera intermedia susceptible de moverse alrededor de su punto de contacto con la viga, y cuando un tirante aprieta más, la volandera gira y reparte las tensiones. Las vigas no sólo no empujan á los muros, sino que los atirantan por medio de una cadena de llantas que se enlazan con otras retorcidas y terminadas en ojo que llevan las vigas.


Fig. 633


Sobre las aletas superiores de las vigas principales se apoyan las secundarias, que son dobles y están separadas entre sí por un pequeño nervio, prolongación del alma de aquellas; su sección tiene la forma de T, y algunas de ellas presentan una especie de quebranto del nervio en los sitios que corresponden á los pedestales colocados encima, que son los que transmiten mayor carga. Dicha sección es la que más conviene á la resistencia y al arranque de las bovedillas, pero á las últimas viguetas se les dió una forma parecida á la de los hierros Zorés, para anular el empuje de

la última bovedilla, según ya vimos. Los espacios se cuajaron por medio de bovedillas batidas de ladrillo hueco.

Suelo de la Casa-Ayuntamiento de Berlín. - Aunque el problema era el mismo del caso anterior se resolvió por medio del hierro dulce. La luz pasaba de 10 metros, y se dividió en tramos de unos tres metros por un sistema de vigas maestras de celosía á las que dio también curvatura (Fig. 634)


Fig. 634

Sobre el ala de estas vigas se apoyan las viguetas, de hierro dulce y de sección de T. á excepción de la última que es tubular; los compartimentos se cuajaron con bovedillas (V. las láminas)

En otro salón del mismo edificio se construyó un suelo análogo, pero sustituyendo las viguetas con arcos fajones.

Otro suelo en Berlín. La luz es de 15 metros y la crujía se ha dividido en tramos de 5 metros con un sistema de vigas; sobre este se apoya otro que divide la crujía en el sentido de su ancho en espacios también de 5 metros; finalmente, un tercer sistema de viguetas subdivide los cuadrados resultantes en cuatro rectángulos que se cubren con bovedillas de cañón.

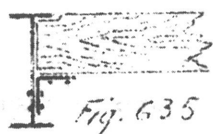
Las vigas principales son armadas y de alma llena lo mismo que las secundarias, y tanto unas como otras presentan una ligera curvatura por su parte inferior. Las viguetas son laminadas y su sección la de I. (Véanse las láminas)

II - Suelos mixtos de madera y hierro.

Desde luego puede decirse que la combinación de

dos materiales de naturaleza tan distinta y que admiten tan diferentes coeficientes de trabajo, es mala; sin embargo, existen razones que justifican su empleo, pues además de la economía, ofrecen mas facilidad para abrir botoneras y para sujetar las vigas, se obtienen suelos mas rígidos, y, finalmente, queda en mejores condiciones la unión del forjado con el entramado, cosa muy conveniente cuando el suelo va á estar sometido á vibraciones, como sucede en los cuarteles, asilos, etc., por efecto de los movimientos acompasados.

Las vigas de estos suelos se forman como ya dijimos: ó de dos I cogiendo un elemento de madera, ó de dos de estos cogiendo una I; pero la combinación mas favorable es aquella en que se separan los dos materiales, poniendo, por ejemplo, vigas maestras de hierro y viguetas de madera asentadas sobre el ala superior de aquellas, y si no se quiere perder altura se pueden alojar las viguetas en la vigas maestras preparando el asiento por medio de una escuadra (Fig. 635), ó si lo requiere la importancia de la obra, se pone una especie de cojinete ó zapata. La parte inferior saliente de la viga se puede forrar de madera y dejarlas salientes sobre el fondo general y aprovecharlas para el decorado. Lo mismo se hace cuando las vigas son tubulares.


Fig. 635

Suelos con bovedillas de hierro.

Estos suelos no son, en rigor, diferentes de los que hemos estudiado con el título de Suelos formados con vigas

y planchas de hierro; sin embargo, tienen distintas aplicaciones, pues mientras estos últimos solo se usan para edificios industriales, aquellos se emplean en construcciones de otra índole, como asilos, hospitales, etc., por la facilidad con que se lavan. Se forman estableciendo una serie de vigas de I en cuyas alas se apoyan palastros simulando bovedillas, haciéndose las uniones con hierro de T, quedando el ala como un reborde. También puede formar el entramado cuadrícula exacta, y los cuadrados que quedan se llenan con chapas estampadas que llevan una aleta lateral para apoyarse sobre las vigas; suele dejarse sueltas estas chapas, pero siempre conviene poner algún roblón ó perno para mayor solidez del conjunto. Por la parte superior se pone carrete para asiento del embaldosado. (Véanse las láminas)

Embrochalados.

Son necesarios muchas veces para descargar huecos, dar paso á tubos de chimeneas, bajadas á sótanos, etc., pero en los suelos de hierro no son tan frecuentes como en los de madera, porque la distancia entre las vigas es mayor. Si el brochal y la viga son de I y de igual altura, lo más práctico es unir ambas piezas por medio de dos escuadras y pernos, cortando un poco las alas para que encajen. Se usan también para esta unión los pernos acodillados (Fig. 636), pero es menos seguro. Si el brochal y la viga son de desigual altura se asienta el primero, á ser posible, sobre el ala inferior (

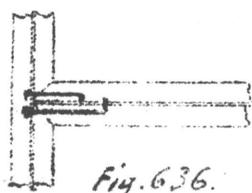


Fig. 636.

de la segunda, y entonces pueden emplearse ventajosamente los pernos acodillados, ó se hace el enlace por medio de escuadras, que es el procedimiento mas general.

2º- Armaduras.

Siendo su objeto sostener la cubierta de un edificio, claro está que de las condiciones de esta depende la mayor ó menor complicación de la armadura.

Se clasifican en dos grandes grupos: 1º Armaduras completamente de hierro; y 2º Armaduras mixtas de madera y hierro. Tanto en unas como en otras la disposición general es análoga á la de las armaduras de madera: planos inclinados por donde escurren las aguas, y como aquellas pueden ser á un agua, ó á dos, con peto ó sin él.

I.- Armaduras completamente de hierro.

Se distinguen dos clases, según se construyan de hierro dulce ó de hierro colado.

Armaduras de hierro colado.- Son muy usadas por los inconvenientes que ya expusimos al tratar de las vigas formadas con este material, pues no es posible construir piezas de grandes dimensiones, y las empleadas pueden tener defectos que no aparezcan al exterior; además la rotura no se anuncia préviamente por la deformación de las piezas, y estas resultan muy pesadas, no por necesidades de resistencia, sino de fabricación.

1er tipo. Imitación de las armaduras de madera. Todas las piezas, excepto las que trabajan por tensión, se hacen de hie-

rro colado; esta armadura solo es aplicable á pequeños vanos por la dificultad de obtener pares que excedan de 2m75. Supongamos que se trata de un vano de 5 metros; formemos la armadura con dos pares, un tirante y un pendolón, haciendo los primeros de hierro colado en forma de T ó de I, y los segundos con varilla de hierro dulce. Vamos á estudiar ahora el enlace de estas piezas; los pares podrían unirse en el vértice por medio de una caja de fundición, pero este procedimiento es caro, y aunque se ha empleado bastante, va cayendo en desuso. Lo mas conveniente es poner los dos pares al tope (Fig. 637) y sobre la unión dos tapajuntas de palastro, después de haber limado la parte de ala que estorbe; las

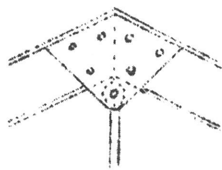


Fig. 637

dos cubrejuntas se sujetan con pequeños pernos, y entre ellas se aloja la terminación en ojo de la varilla del pendolón que es también cogida con un perno, y si hay caballete se une á las chapas por medio de escuadras. El asiento de los pares sobre los muros puede hacerse también con cajas de fundición, ó para evitar esto, se terminan aquellos en una platina que se asienta ó sobre un sillar ó sobre una plancha de hierro cogida con pernos de empotramiento. El tirante puede atravesar los pares, pero es preferible poner una horquilla de hierro dulce (Fig. 638) que atraviese el alma del par, y á esta horquilla se enlaza el tirante. El

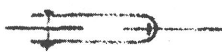
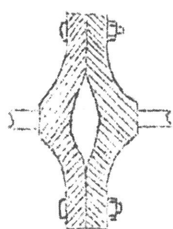


Fig. 638

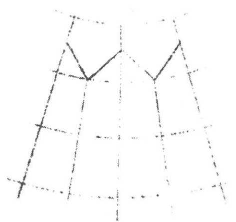
pendolón pasa á través del tirante por medio de una braga, y puede ser de dos piezas unidas por un templador. El entramado de los planos de cubierta puede hacerse de distintos modos, ó atornillando correas de madera á las alas de los pares, ó sobre estos se asientan escuadras

que luego reciben las pizarras ó tejas. Estas armaduras necesitan estar muy bien arriostradas (V. las láminas)

2º tipo. Empleo del hierro colado en tímpanos. - Se compone la armadura de una série de tímpanos que se combinan entre sí como las dovelas de un arco; los cuchillos son curvos al interior y planos por la parte externa. Cada uno de los tímpanos está agujereado con objeto de aligerar su peso, lo que es un motivo de ornamentacion cuando la armadura queda al descubierto. La seccion de estos tímpanos es la de I, y las uniones se hacen por medio de bridas, procurando que las caras que han de hacer contacto estén perfectamente alisadas, y para que esto sea más fácil solo se alisan dos pequeñas zonas dejando el resto mas hundido (Fig. 639). Cuando una brida corresponde al punto por donde pasa un tirante se deja en ella el hueco correspondiente (V. las láminas). Si el entramado de los planos de cubierta se hace con correas de madera hay que poner en la parte exterior de los tímpanos un apéndice ó taco que las sostenga.

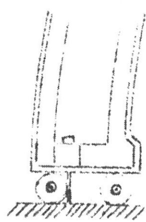

Fig. 639

Cúpulas. El ejemplo mas notable es la construida por Schinckel en San Nicolás de Postdam. Tiene 92 metros de diámetro y la superficie está dividida en 56 espacios por meridianos, y estos cerrados por siete anillos horizontales, incluso el del lucernario. Como no podian obtenerse las cerchas de una sola pieza se salvó esta dificultad con una disposicion muy ingeniosa para facilitar los enlaces: atendiendo á que la distancia entre ellas iba estrechándose cada vez mas, no se juzgó prudente que todas llegasen hasta el lucernario, y


Fig. 640

y la mitad quedaron terminadas en un anillo inferior (Fig. 640); las cerchas largas se hicieron de cuatro segmentos, y las cortas de tres, alternándose las juntas. Los anillos también se formaron de trozos cuya longitud es el doble de la distancia entre las cerchas, de suerte que cada trozo pasaba entre dos segmentos de cercha y se apoyaba en el centro sobre otros dos, disposición muy sencilla que permitió hacer los enlaces fácilmente. A la terminación de las cerchas cortas se pusieron como contravientos piezas oblícuas á 45º á modo de tornapuntas. Dispuesta así la armadura se colocaron los tímpanos, de la indicada forma de I y ahuecados, y los enlaces se hicieron con bridas, procedimiento seguido también para las uniones de los tornapuntas, trozos de anillo, etc. Al alma del lucernario, que tiene dos metros de diámetro van á parar las 28 cerchas largas, que tienen unos 14 metros de radio, y su ancho es de 0m54 en la base y 0m37 en la parte superior.

Se asienta toda la cúpula sobre un anillo de sillería y cada cercha en una placa de hierro fundido con dos rodillos de dilatación; esta placa lleva dos uñas que entran en la fábrica, y dos rebordes para impedir movimientos extraordinarios de los rodillos (Fig. 641). Con objeto de prevenir los graves accidentes de que pudiera ser causa un fuerte huracán, se ha fundido en cada cercha un manguito con un taladro por el que pasa un perno de empotramiento que se embute en la fábrica, y para dejar libertad á los movimientos dicho taladro tiene la forma oval. Aparte


Fig. 641

de esto, se enlazaron todas las cerchas entre sí por medio de una llanta de 0m156 de tabla por 0m02 de canto, que, además de ir atornillada á las cerchas, quedaba cogida por dos uñas que en estas se dejaron.

La cubierta es de cobre y se formó del siguiente modo: se forró el trasdós de las cerchas con listones cerrados de 0m13 x 0m05 y en ellos se clavó un entablado sobre el cual se colocaron las chapas de cobre, dejando de trecho en trecho nervios salientes, según los meridianos, para entretener la superficie.

Así se ha conseguido obtener una cúpula exenta de grandes masas de hierro que podían ocultar defectos, pero resulta muy pesada é inaplicable en nuestro país por las condiciones en que se hace la fundición.

Armaduras de hierro dulce.- Son de uso mucho más general que las anteriores, y pueden clasificarse del modo siguiente: 1º Armaduras á dos aguas, ó sea formadas por dos planos ó tendidos; 2º Armaduras á un agua ó marquesinas; 3º Armaduras de pabellón, ya sean en su forma ordinaria, ó en la de chapiteles ó agujas; y 4º Cúpulas.

Armaduras á dos aguas.- Pueden á su vez dividirse en varios grupos: 1º con pares rectos simples, formados con vigas laminadas ó armados con palastros y hierros especiales; 2º Con pares armados como vigas de celosía; 3º Con pares de celosía, pero con la parte exterior plana y la interior curva ó poligonal, formando, sin embargo, todo el cuchillo una viga; 4º Armaduras cilíndricas al exterior é interior, pero en general no concéntricas para dar en cada punto la sección correspondiente á la resistencia; y 5º armaduras en que los

cuchillos son falciformes.

1º Armaduras con pares laminados. Pueden desde luego, construirse como las de madera, estableciendo primero cuchillos paralelos que sostengan el entramado de los planos de cubierta, pero tambien puede haber algo de las armaduras elementales. En efecto: si se trata de una cubierta sencilla, cuya luz no pase de unos seis metros, es suficiente establecer dos pares unidos por el vértice con dos chapas, y en la parte inferior un tirante, que puede ser de varilla ó de I para formar el suelo de las guardillas; en el primer caso hará falta para la union del par con el tirante una caja de fundicion; en el segundo se ponen chapas cogidas con pernos. La teja que generalmente se emplea en estas armaduras es la plana, de tacon, y para colgarla se ponen á distancias proporcionadas á sus dimensiones, unas escuadras ó pequeños hierros de T cosidos á los pares, á manera de correas. Tambien pueden voltearse de correa á correa bovedillas de rasilla que luego se enrasan para recibir la teja. No hay inconveniente en que los pares, en lugar de ser rectos tengan la forma curva á fin de disminuir los momentos; esta curvatura se da en la fábrica despues del laminado.

Para luces mayores se construyen verdaderos cuchillos, y encima se arman los entramados de los planos de cubierta. La disposicion mas sencilla que puede adoptarse para estos cuchillos es la de dos pares, un tirante y un pendolon; el tirante puede ser horizontal, recto ó quebrado, estando su vértice mas alto ó mas bajo que el arranque de los pares (Fig. 642)

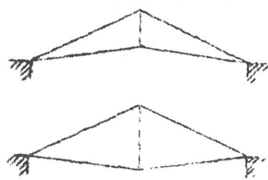


Fig. 642

El tirante oblícuo altera la resistencia, pero algunas veces está justificado su empleo, como cuando se pone el vértice alto y se quiere dar mejor aspecto á la armadura, si vá á quedar al descubierto, ó si han de alojarse bóvedas debajo, en cuyo caso conviene ganar altura. El vértice bajo se emplea, á pesar del mal efecto que hace á la vista y de la altura que se pierde, cuando los pares tienen poca inclinación, como sucede en las cubiertas metálicas, y no queda sitio para hacer los ensambles ó para emplazar algunas piezas.

Cuando el vano es de alguna importancia es necesario dar al par puntos de apoyo intermedios para que no se doble, y estos puntos deben coincidir con las correas, condición precisa para que no haya mas que piezas estiradas y comprimidas, pero estas últimas no deberán pasar de los límites que señala la resistencia á fin de que no se inicie la flexión lateral; á este objeto responde el tipo de cuchillo con tirante alto quebrantado, pues en él se disminuye la longitud de las piezas.

El primer tipo de cuchillo que se nos presenta es el llamado inglés, de tirante horizontal, y en el que se combinan tornapuntas con falsos pendolones que corresponden á los puntos de articulación, tambien se aplica con tirante quebrantado. En segundo lugar tenemos el cuchillo Polonceau, en el que cada par forma una especie de viga armada, enlazándose los dos con un tirante mas alto que los arranques de los pares, de este cuchillo hay gran variedad de tipos, pues los puntos de apoyo del par pueden ser dos, tres, cinco, etc. y el tirante puede quedar á la altura de los arranques, mas alto ó mas bajo, por mas que ya hemos dicho que en el

tipo primitivo quedaba mas alto. Hay tambien cuchillos con tirante bajo reproduciendo el tipo inglés ú otro cualquiera; y, por último, se construyen cuchillos en que las líneas que los terminan por la parte superior é inferior son poligonales no concéntricas unidas por piezas verticales ú oblícuas.

Todas estas disposiciones presentan, sin embargo, graves inconvenientes: en primer lugar, si se determina el modo de trabajar de las diferentes piezas del que hemos llamado cuchillo inglés, se ve que el trabajo va aumentando desde los extremos al centro para los pares y falsos pendolones, sucediendo lo contrario en los tornapuntas, y como quiera que la seccion de todas estas piezas ha de ser constante habrá que adoptar la correspondiente al segmento de mayor trabajo, de modo que en los demás habrá materia sobrante y mal repartida. Algo de esto, pero no tanto, sucede en el cuchillo Polonceau; en cambio exije mucha mano de obra para la colocacion de los pernos que constituyen las articulaciones.

Se resuelven estas dificultades con cuchillos rectos por la parte superior, y terminados en la inferior por un cordon parabólico ó poligonal que se aproxima á esta curva. Así es igual el trabajo en todos los segmentos de las piezas, ó, por lo menos, la diferencia es muy pequeña. La mano de obra tambien se simplifica mucho, pues los tirantes no necesitan terminar en ojo, bastando que estén acodillados. Si se construyen estos cuchillos recordando algo los Polonceau, se obtiene mejor aspecto y mas facilidad para el armado, viniendo á ser las mismas las condiciones mecánicas. Estas son las formas que da la Resistencia, pero que pueden ser aceptadas ó no por el Arquitec-

lo atendiendo á otro orden de ideas.

Pasemos ahora á los detalles. En las armaduras de poca luz los pares pueden ser de T, ó mejor formados de dos escuadras, y así se facilita la unión con las otras piezas y se tiene mayor momento de inercia. Si la luz aumenta, se hacen los pares de I, ó, por las razones dichas, de dos escuadras dobles, que pueden llevar en medio una pieza de madera para facilitar el clavado de las correas, aunque esto va cayendo en desuso, como también el hacer los tirantes de varilla por la mano de obra que necesita; empleándose llantas u otras piezas que admitan ensambles mas fáciles; los tornapuntas se hacen de una ó de dos escuadras, ó de T, y los enlaces con roblones, teniendo cuidado de lo dicho respecto de sus dimensiones máximas; su número se calcula por el esfuerzo cortante, y debe procurarse disminuir las chapas de ensamble para disminuir también el peso. Cuando se quiera tener articulaciones muy libres se emplean pernos en lugar de roblones, y con manguitos de acero se facilitan aún mas los movimientos; de no hacerlo así se pone un roblón único, siendo preciso que la resultante de los esfuerzos pase por su eje para evitar los momentos de flexión.

Respecto á las dimensiones consignaremos los siguientes datos prácticos: en armaduras cuya luz esté comprendida entre 6 y 12 metros, se dará á los pares la forma de T, ó de dos escuadras, según hemos dicho, no pasando la tabla de 0m08, la altura de 0m10 y el espesor de 0m010; si se emplean varillas su diámetro oscilará entre 0m013 y 0m020. Para luces de 12 á 16 metros, la forma de los hierros la misma que antes, la tabla hasta 0m07, la altura

0^m12, y el espesor 0^m013; el diámetro de las varillas de 0^m02 á 0^m03. Si la luz aumenta se emplean I para evitar las las flexiones laterales.

2º. Cuchillos á dos aguas con alma calada. — La razón de ser de estos cuchillos es la de disminuir el número de piezas interiores, acumulando en los pares toda la resistencia que sea posible; sabemos, en efecto, que las piezas interiores de un cuchillo están destinadas á dar puntos de apoyo intermedios al par, pero si este ofrece una gran resistencia, esos puntos, y, por tanto, las piezas correspondientes, podrán suprimirse, obteniéndose mejor aspecto para el caso de que la armadura quede visible, pero no se consigue ninguna economía, pues si bien la cantidad de material es menor, se aumenta la mano de obra. Los cuchillos Polonceau, los parabólicos, y en general, todos los que hasta aquí hemos estudiado, se prestan á esta disposición; en los segundos basta unir al par un tirante y un pendolón.

Como ejemplo puede citarse la armadura de 24 metros de luz que cubre el gimnasio de Monge en París; se emplearon en ella pares rectos de alma calada enlazados por un tirante y dos pendolones; en la parte superior de cada cuchillo va una pequeña armadura destinada á servir de linternón. (V. las láminas)

3º. Cuchillos planos en la parte exterior, y curvos ó poligonales en la interior, formando el conjunto una viga de celosía. Es decir, que ya no son los pares de alma calada, sino que todo el cuchillo forma una viga de esta clase. El ejemplo mas notable de estas armaduras es la armadura de Dion, cuyas variantes vamos á estudiar según las diversas luces en que puede presentarse.

En general, se componen estos cuchillos dos vigas de alma calada, curvas por la parte inferior y rectas por la superior, prolongándose el cuchillo hasta el suelo por medio de una parte vertical que se trata como el resto de la forma. Estas armaduras no necesitan tirante, y si se establece es por debajo del suelo.

Armaduras de 20 á 24 metros de luz. — Se forma cada uno de los cordones con escuadras de $0.^{m}060$ de ala por $0.^{m}008$ de espesor; para las piezas oblicuas que trabajan por tensión se ponen llantas de $0.^{m}05$ de tabla y $0.^{m}008$ de canto, y las comprimidas son escuadras de las mismas dimensiones que las primeras. Las uniones se hacen fácilmente, pues entre las dos escuadras de los cordones entran las demás piezas, cortando á las escuadras la parte de ala que sea necesario. En los puntos de articulación son necesarios, por lo menos, tres roblones, uno para la llanta y dos para la escuadra; si hicieran falta más, se ponen chapas de ensamble. Las formas descansan por su parte inferior en una base de piedra, en la que hay embebida una placa de asiento cogida con pernos de empotramiento, anulándose así todo el empuje. Finalmente, el cuchillo mide unos cincuenta centímetros en el vértice y setenta en el arranque.

Armaduras de 35 metros de luz. — Esta armadura cubrió la Galería de Máquinas de la Exposición de París de 1878; su disposición es la misma que la anteriormente descrita, variando sólo los detalles. En relación á la luz se aumentó la resistencia de los cordones así como la de las piezas verticales y oblicuas; las primeras eran piezas tubulares formadas por un palastro horizontal y dos verticales enlazados con escuadras (Fig. 643); las piezas verticales están


Fig. 643

constituidas por cuatro escuadras, de las que se cosen dos por cada cara del cordón, y las oblicuas son dos dobles escuadras, una por cada cara, formando todo el conjunto una gran pieza tubular de paredes caladas. Las dimensiones son: palastro de la tapa, 0m40 de ancho y 0m01 de espesor; los verticales, 0,20 × 0,01; las escuadras 0,07 de ala por 0,006 de espesor. En la parte inferior se ha reforzado la tapa con otros palastros. Las formas, que tienen 24 metros de altura y están á 15 metros unas de otras se unen entre sí por medio de correas, que sirven para acodalarlas, y son piezas de alma calada, compuestas de dos cordones de escuadras y piezas verticales y oblicuas hechas de llantas (Fig. 644) Estas correas van en la altura del cuchillo y se apoyan en él por medio de una especie de palomillas, y se consolida la unión con palastros cogidos entre las escuadras y unidas á las piezas tubulares. Para evitar las deformaciones por la dilatación, los taladros que se se hacen para unir las correas al palastro son ovalados (V. las láminas)

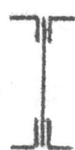


Fig. 644

Armadura de 114m30 de luz. — Se construyó para la Exposición Universal de París en 1889; subsiste en ella la disposición, solo varía algo el perfil, pues la parte vertical se acentúa poco, lo necesario para dejar sitio á los dos pisos que llevan las galerías laterales. Los cuchillos se repartieron en 19 tramos de 20 á 25 metros, y los espacios que quedaron entre las correas que sobre ellos se apoyaban se subdividieron por medio de trozos de par iguales á los principales, terminándose la subdivisión con hierros de T destinados á recibir los cristales en el sitio en que estos forman la cubierta.

Los cordones se establecieron como en la armadura anterior, sin otra diferencia que la de haber colocado otras dos escua-

dros en la parte interior del techo; las piezas verticales y oblicuas son vigas armadas con un palastro como alma, dos tablas y dos pares de escuadras; las correas son vigas de celosía con la disposición representada en la fig.ª 645: los cordones están formados también por un trozo de nervio vertical, un alas y dos escuadras; las piezas verticales son cuatro escuadras cogiendo palastros en forma de cruz, y las oblicuas simples llantas. Estas correas son verticales, lo que rompe en cierto modo la ordenación, pues, en rigor, no hay dentro de la forma piezas en ese sentido, toda vez que se han dispuesto normales á los cordones. (V. las láminas)



Fig. 645

La colocación de las correas en la altura de los cuchillos y no sobre ellos, responde á la necesidad de establecer un arriostrado perfecto en el sentido longitudinal; el transversal lo constituyen las galerías laterales, que llevan sus respectivas vigas de suelo y armaduras.

Todas las formas están articuladas en sus arranques y en el vértice, y de este modo, los esfuerzos en que tienden á traducirse los efectos de la dilatación hacen girar los cuchillos alrededor de dichas articulaciones y se anulan aquellas. Cada media forma lleva en el vértice un cojinete, y entre los dos entra un rodillo de acero, eje de la articulación; en la parte inferior, y sobre una base de piedra bien cimentada, va colocada una placa, provista también de su cojinete, en el cual penetra otro invertido que lleva el extremo de la forma (V. las láminas)

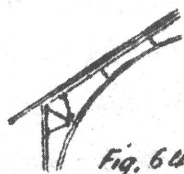
Como datos numéricos diremos que el ancho de las alas es de 0m80, los elementos verticales miden 0m70 en unos puntos y 0m50 en otros, las escuadras 0m10 de ala: el hueco que queda entre los dos palastros verticales es de 0m55, y el an-

cho de la forma varía desde 3 metros en la base hasta 1.m70 en el vértice

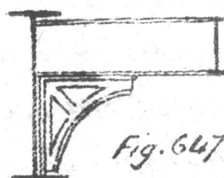
Otras formas mas sencillas que la De Dion - Pueden aplicarse para vanos hasta de 22 metros, y son las generalmente empleadas para las estaciones de los caminos de hierro. Los cordones se constituyen con escuadras, é intermedias se establecen las demás piezas, de llanta las estiradas, y de escuadra las comprimidas; algunas veces se hacen los cordones con hierros de T, y entonces se adosan las piezas al nervio vertical. La forma se coloca sobre los muros, y hay que prevenir, sobre todo cuando los arranques quedan á mucha altura, los movimientos originados por la dilatación; para ello se deja suelto un extremo ó los dos, haciendolos descansar sobre aparatos de dilatación, cuyos diferentes modelos y sistemas hemos estudiado ya.

4º Armaduras cilíndricas exterior é interiormente. Aún cuando al establecer la clasificación de las armaduras de hierro dulce hemos enunciado las que pertenecen á este grupo como cilíndricas por ambas caras, por ser esta forma la que ahora se les dá, vamos á ocuparnos antes de las primitivas, en las que se conservan los tendidos planos al exterior y la forma curva en el interior, pero se diferencian de las del grupo 3º en que la pieza curva forma por sí un arco, y no un cordón inestable como en aquellas. Tenemos, pues, que estudiar dos disposiciones distintas:

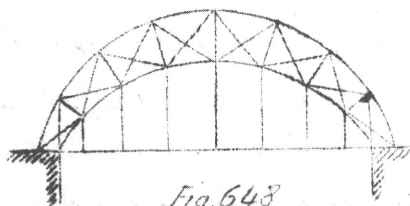
1.a Armadura curva interiormente con tendidos planos al exterior; esta forma obedece á la necesidad de obtener espacios mas libres por la supresión de las piezas interiores. Los cordones se hacen con dos escuadras, ó lo que es mas general, con hierros de T, y los dos se enlazan en los puntos mas próximos con dos chapas que cogen entre


Fig. 646

ellas los nervios de las dos TT; en los demás puntos la unión se hace con tornapuntas de llanta del mismo grueso que dichos nervios (Figura 646). En estas armaduras hay que tener en cuenta la colocación de las correas, que conviene situar en la parte interior, tanto para el arriostrado como por alijerar el conjunto; estas correas son de T, y se colocan por debajo de las alas de la forma, estableciendo en los puntos convenientes chapas, á las que se cosen palomillas de hierro colado (Fig. 647) ó un trozo de escuadra para dar asiento á las correas, que también se sujetan con escuadras á la misma chapa. En el vértice se sitúa el caballete sobre otra palomilla que descansa en el pendolón, y además se cose con una escuadra á la chapa de ensamble del cordón superior y del pendolón. Estas formas se han empleado mucho para cubrir mercados, salas de exposiciones, etc.


Fig. 647

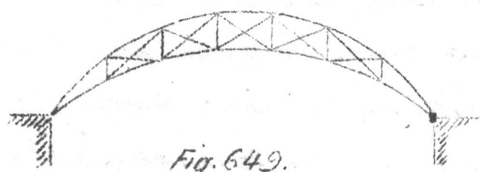
2.° Armaduras curvas exterior é interiormente; tienen mayor resistencia que las anteriores y pueden aplicarse para grandes vanos. La disposición mas sencilla es la de una forma de alma calada con un tirante sujeto por varios pendolones (Fig. 648); pero esto tiene el incoveniente de que esas piezas interiores obstruyen el espacio. La verdadera solución consiste en emplear solo arcos con articulaciones, procurando que los arranques esten lo mas bajos que sea posible, para contrarrestar mas fácilmente el empuje, y si hace falta tirante se pone por debajo del pavimento, pero no será preciso si las bases estan


Fig. 648

bien empotradas. Hasta llegar á las formas que hoy se emplean hay gran variedad de tipos, algunos muy notables, como la armadura que cubre una estufa de Berlin, de 38 metros de lado, y la de la estación de San Pancracio en Londres, que tiene 74 metros de luz; esta última armadura arranca del suelo, pero una parte de ella está embebida en el muro de fachada. Las formas modernas estan articuladas en tres puntos y su seccion no es constante; el muro exterior sólo sirve de cerramiento; como ejemplo notable se cita la armadura de la estación de Colonia, de 37 metros de luz; la seccion general es la de I, los cordones se forman con escuadras, é intermedias se ponen las piezas verticales y oblícuas. En lugar de repartir las cerchas á distancias iguales, se ponen dos acopladas, pudiendo ser así mas sencillas las correas, siendo su forma la parabólica, y se sostienen con palomillas. Datos numéricos: luz, 37 metros; cada dos cerchas de las que se acoplan á 1.m50; cada dos pares á 8 metros. Es igualmente notable la estacion de Frankfort en Alemania.

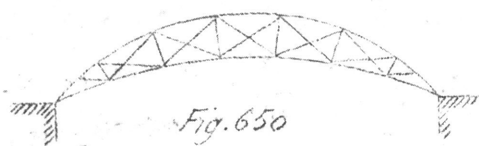
Estas armaduras, que tienen la ventaja de poder alojar una bóveda, puesto que no hay tirante (V. las láminas) necesitan una cubierta especial de chapa metálica que se adapte á la forma curva.

5º. Armaduras en que los cuchillos son falciformes: El objeto de estas armaduras es conseguir ligereza por la supresion de las piezas interiores, y al propio tiempo ganar altura. Ademas de estas ventajas tienen la de que todos los elementos trabajan con mas igualdad, analogamente á lo que dijimos de los cuchillos parabólicos. Aunque las piezas diagonales (Figura 649) no trabajan si la carga está uniformemente repartida


Fig. 649.

como esto, en rigor, no sucede nunca, no deben suprimirse; las piezas verticales trabajan por tensión ó por compresión según la región en que se acumulen las cargas, por lo que se les da sección de L.T.+.Z. etc., que son susceptibles de resistir ambos esfuerzos. No es de muy buen aspecto la forma de estas armaduras, sobre todo comparada con la de otras que hemos estudiado antes, pero que exijen otras condiciones, como la de tener los arranques muy bajos: en último caso puede acudirse al recurso empleado en la Bolsa de Berlin: ocultar la armadura con un encasetonado.

1.er tipo.- Armadura de 47 metros de luz para la cubierta de una estación en Inglaterra.- Los cordones estan formados con dos escuadras y compuestos de varios trozos unidos con cubrejuntas, entre las que se introducen las varillas que constituyen las diagonales y las T verticales despues de haber quitado á las alas de estas la parte necesaria. En el centro, en vez de virotillo, hay dos diagonales para prevenir todos los cambios de las cargas (Fig. 650). Por último, tambien en el centro se aumentó la resistencia con chapas ó palastros adicionales colocados en el ala inferior.


Fig. 650

2.º tipo- Armadura algo anticuada, de 63 metros de luz, en otra estación.- El cordón superior es de T, el inferior de cabillas, y las diagonales de llanta; en cuanto á las piezas verticales, se presentó un verdadero problema, puesto que iban á trabajar por compresión y á tener una longitud grande por la importancia del vano, aunque la sección falciforme reduce las piezas, no se podia pensar en barras de hierro colado porque hubiesen resultado con excesivo peso, y la solución consistió en construirlas con cuatro escuadras, pero no juntas, sino separadas para dar mayor momento de iner-



Fig. 651

cia, y esto permitía también darles la forma, en alzado, de biela ó sólido de igual resistencia (Figura 651); las cuatro escuadras se enlazaron de trecho en trecho por medio de piezas horizontales en forma de cruz, sujetándolas con pasadores. Hay que observar que en la parte inferior se reunen cinco piezas: dos trozos de cabilla del cordon de este lado, dos diagonales de llanta, y la pieza vertical; veamos como se hizo la unión: los dos trozos de cabilla se enlazaron con un manguito ó templador (Figura 652) y encima se colocó la primera cruceta, que era de forma especial, pues llevaba una base curva para adaptarse al manguito, y estaba, además, dotada de dos apéndices que enlazaban con las llantas, dicha cruceta es hueca, y por su interior para un perno, que también atraviesa al manguito, y termina en una tuerca con volandera especial para adaptarse á la superficie cilíndrica de este; por la parte superior recibió dicho perno la forma de T. Las otras crucetas altas de la piezas verticales son de la forma general. Otra dificultad ofreció esta armadura, que fué la unión de los dos cordones, pues hay que tener en cuenta que uno era de hierro de T y otro de cabilla; esto se resolvió con dos chapas que abrazan el nervio de la T (Fig. 653). Finalmente, para prevenir los efectos de la dilatación, las formas van montadas sobre rodillos.

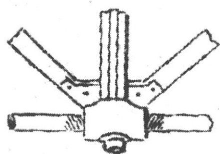


Fig. 652

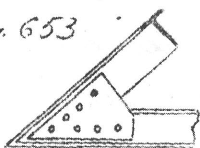


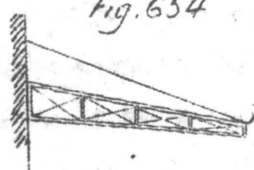
Fig. 653

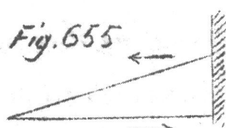
Armaduras á un agua — Se emplean por exijirlo así las condiciones de la planta cuando no se pueden dirigir las aguas mas que á un solo lado, como ocurre en el caso particular de una medianería. Realmente, estas armaduras

no ofrecen nada de particular, puesto que cada cuchillo no es mas que la mitad de uno á dos aguas; solo hay que cuidar de que su composición sea tal que para el equilibrio no se necesite la reacción de la mitad que se suprime: en tal sentido, media forma Polonceau, por ejemplo, no serviría.

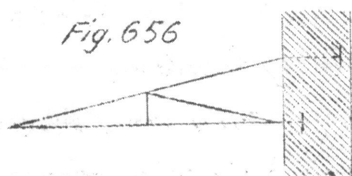
Merecen un estudio especial las armaduras á un agua llamadas marquesinas, cuyo objeto es cubrir los ingresos á edificios.

En primer lugar, cuando es posible poner columnas el caso es muy sencillo, pues en ellas y en el muro se apoya la marquesina; pero si, como ocurre con frecuencia, aquellas no pueden establecerse hay que recurrir á una de las dos soluciones siguientes: no siendo la luz muy grande se ponen ménsulas y la cuestión queda resuelta fácilmente; en otro caso hay que fiar la estabilidad de la marquesina al empotramiento. Permitiéndolo el edificio se coloca


Fig. 654


Fig. 655

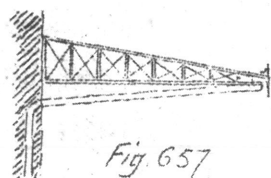
un tirante (Fig. 654) que produce una reacción la cual, compuesta con el peso de la armadura dá una resultante igual, pero en sentido contrario á la reacción del muro, y que habrá que contrarrestar. Si no hay tirante se forma un par (Fig. 655) que deberá ser contrarrestado con otro. Vamos ahora á ver como se hace el empotramiento; para ello observemos que el tirante tiende á salir del muro, y el par á penetrar en este: de aquí que se unió el primero á una pieza horizontal que atraviesa el muro y termina en un ojo para recibir un barrón que se sitúa cerca del paramento interior (Fig. 656), mientras que el par


Fig. 656

queda sujeto en igual forma próximo al paramento exterior. El otro procedimiento consiste en coger las dos piezas con un solo pasador, disposición que permite variar la tensión de aquellas, para lo que se establecen dos tuercas alojadas en pequeños nichos abiertos en el paramento interior; si el vuelo de la marquesina es grande no bastarán las tuercas para manejarla y será necesario emplear placas, rodillos, etc.

Respecto de la composición de las marquesinas, debe observarse que, como la luz no suele exceder de 3 metros, mas que cuchillos de armaduras, deben considerarse como vigas armadas, empotradas por un extremo y libres por el otro, pudiendo adoptarse uno cualquiera de los diagramas que para ellas existen.

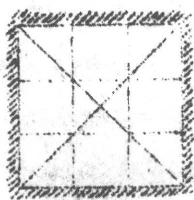
Para recoger las aguas, pues dejar libre el goteo es muy incómodo, se pone un canalón en la parte anterior, ocultándole con una crestería, y en los ángulos se establecen gárgolas mas ó menos decoradas, por donde vierte el agua; es preferible, sin embargo, conducir esta al paramento del muro por tubos colocados en la parte inferior de la marquesina (Fig. 657) y ocultos por una guardamalleta que se ajusta á aquella, sujetándolos con piezas curvas de hierro. Para la guardamalleta conviene adoptar perfiles en que la línea inferior esté algo inclinada de arriba á abajo.


Fig. 657

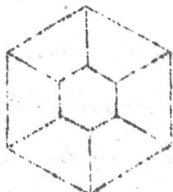
Armaduras de pabellón.- Hay que distinguir dos clases: las armaduras de pabellón, propiamente dichas, y las flechas ó chapiteles.

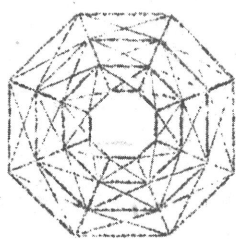
1º Armaduras de pabellón propiamente dichas — Supongamos primeramente que se trata de una planta cuadrada; la armadura puede entonces formarse establecien-

de un cuchillo diagonal, dos medios diagonales, otros cuatro medios según las medianas del cuadrado, y las péndolas que sean necesarias para asegurar las correas. Los ensambles en el vértice pueden hacerse de dos modos: ó con cajas fundidas, dotadas de cuatro ramales y los apéndices ó aletas que se necesiten para recibir los pendolones y demás piezas interiores, ó lo que es mejor por su menor peso, con hierros de ángulo, que se sacan de un palastro grueso que sujetan con pernos. Esta armadura puede obtenerse por otro procedimiento: se colocan cuatro cuchillos paralelos dos á dos á los lados del cuadrado (Fig. 658) y el hueco que queda se cubre con una armadura en su disposición ordinaria.


Fig. 658.

Sea ahora una planta poligonal de mayor número de lados y supongamos que la armadura haya de tener lucernario, que es el caso más general. Pueden seguirse también dos procedimientos: 1º Establecer según los radios del polígono (Fig. 659) formas que se apoyan en el lucernario, enlazando cada dos opuestas por un tirante y empleando luego todas las piezas interiores que sean necesarias; el lucernario puede dejarse libre haciendo que los tirantes vengan á parar á una corona central que sea la proyección horizontal de aquel; sobre las formas se establecen correas que las mantienen en su plano de lo que resulta una serie de trapecios, que se convierten en indeformables triangulándolos con varillas, operación necesaria en todos ellos. 2º Los tirantes pueden ser suprimidos anulando el empuje con un aro que se establece en el arranque de las armaduras. En este caso puede suprimirse también los pendolones, así como las tornapuntas que sirven para dar puntos de apo-


Fig. 659


Fig. 660

yo intermedio al par, sustituyéndolos por piezas en forma de corona, intercaladas entre los pares (Fig. 660); los trapecios que quedan se triangulan con varillas, y para evitar variaciones del ángulo que forma cada par con el eje general, se establecen palomillas, que muchas veces son motivo de ornamentación. Este sistema no produce economía puesto que si se suprimen piezas interiores hay que ponerlas en el exterior, pero resulta una construcción de buen aspecto.

2º Flechas ó chapiteles — Son obras que merecen especial atención y detenido estudio, pues á veces tienen que contrarrestar grandes empujes del viento, y como, además, están destinados á destacarse en el espacio, cualquier deformación se aprecia notablemente. En la construcción de una flecha hay que observar los principios siguientes:

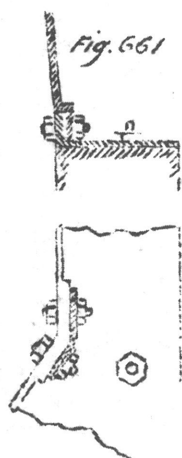
1º Es preciso armar la fábrica con un eje, completo ó no, para que sirva de asiento á la flecha.

2º Para evitar que las limas ó pares se doblen por la acción del viento si quedan simplemente apoyados en sus extremos, se colocan á distintas alturas anillos horizontales más ó menos complicados según la importancia del vano, armando los últimos con un travesero para montar la veleta y la cruz, teniendo en cuenta como se descomponen los esfuerzos del viento;

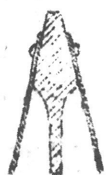
3º Los trapecios que se forman en las caras de la pirámide se hacen indeformables colocando varillas según las diagonales.

Vamos á ver como se han aplicado estos principios á diversas flechas y como se han modificado sus disposiciones á medida que la luz ha ido siendo mayor.

Ejemplo 1º.- Flecha de $1^{m}75$ de luz. Supongamos que la planta es octogonal, que es el caso más frecuente, pues siendo la torre cuadrada, fácilmente se llega á aquella forma por medio de trompas ó pechinas, y supongamos también que con la fábrica se ha llegado hasta el arranque de la flecha. Primeramente se establece sobre el muro un aro de hierro colado (Fig. 661), de una pieza ó de dos enlazadas por medio de bridas, y sujeto con pernos de hierro dulce terminados en tuerca en la parte superior, y en la inferior se pone una chaveta ú otra tuerca alojadas en mechinales abiertos en la fábrica; lo mejor es la tuerca con una chapa intermedia para que reparta la presión sobre mayor superficie. Á dicho aro se le dá forma ó sección de escuadra de ramas desiguales, de las que la mayor asienta en la fábrica, y la menor se enlaza con las limas.


Fig. 661

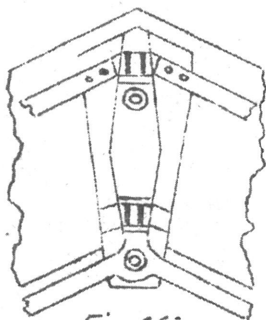
Éstas son hierros de ángulo igual al del octógono de la planta, y se acodillan ligeramente en su extremo para la unión con el aro, que es de hierro colado, y para no debilitarle con los taladros se refuerza en los puntos de ajuste de las limas, es decir, en los ángulos del polígono, dando mayor espesor á la rama más corta de la escuadra. El enlace de las limas en el vértice se hace del siguiente modo: la varilla que sostiene la veleta lleva de forjado una especie de tronco de pirámide octogonal (Fig. 662) donde insistan las limas, asegurándose cada una á sus aristas con un pasador.


Fig. 662

Los aros ó cinchos son de llanta; se ponen de dos en dos metros, ya forjados y cerrados, uniéndose con dos pasadores á las limas, y los trapecios así formados se triangulan con pletinas cogidas por me-

pasador en cada extremo. Si se quiere consolidar mas el arranque de las limas, se emplean refuerzos cosidos con el mismo pasador que une aquellas al ala de la escuadra.

Ejemplo 2º.- Altura de la flecha desde la base 33.m00; radio del octógono 6.m20.- En lugar del aro se establece sobre la fábrica, y al pie de cada lima una placa de hierro colado sujeta con pernos de empotramiento y provista de los elementos necesarios para recibir las limas; dichas placas se enlazan entre si por dos llantas, una exterior y otra interior (Fig. 663) Las limas son vigas de alma calada, formadas con dos llantas como cordones y piezas verticales y oblicuas; para su union con las placas llevan estas un nervio con dos pequeños resaltos que son cogidos entre las llantas ó cordones, haciéndose mas salida la misma con una llanta que la rodea. Los cinchos son tambien de llanta, pero dobles, uno por dentro y otro por fuera, cogiendo entre los dos las piezas; además, las caras se dividen en cuatro partes por medio de péndolas, y la triangulacion de los espacios se hace como antes se ha dicho.

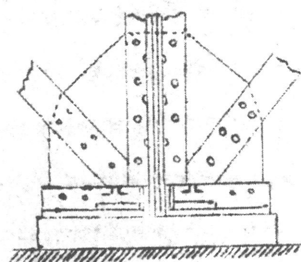

Fig. 663

Si se temiera alguna deformación, no debe vacilarse en hacer invariables los ángulos de los cinchos, bastando para ello unir los vértices del octógono dos á dos, y así se forma un sistema de triangulos completamente indeformable.

Advertimos que esta construcción es algo anticuada.

Ejemplo 3º.- Flecha de gran importancia construida hace pocos años en la restauracion de una iglesia; la torre, de planta cuadrada, mide 16 metros de lado, y el espesor de los muros es de 2 metros; la altura total de la flecha, sin contar 7 metros del remate, es de 47 metros. De la planta

cuadrada se pasó á la octogonal, pero no regular, pues hubiesen tenido demasiado importancia los triángulos de las pechinas, de modo que la pirámide que forma la flecha tiene cuatro caras mas pequeñas que las demás. Sobre la fábrica y en los ángulos se establecieron ocho placas pentagonales, sujetando cada una con dos pernos de hierro dulce terminados por la inferior con tuercas y chapas que se alojan en mechinales abiertos en el muro; sobre estas placas se levantan las limas, construidas con alma de palastro y dos hierros de ángulo, cuya abertura es igual á la mitad del ángulo del octógono; en la base se hace la unión por medio de los nervios de que van provistas las placas (Fig. 664). Las limas no son de una pieza, pues la flecha está dividida en pisos que constituyen otros tantos puntos fijos de aquellas. Los cinchos se componen de dos dobles escuadras, pero en esta flecha se hicieron verdaderos enrayados del modo siguiente: se formó con escuadras un polígono interior y semejante al del cincho, reuniéndose los vértices correspondientes, y los ocho trapecios resultantes se hicieron indeformables, con dos diagonales de llanta los pequeños, y los grandes con dos tornapuntas de escuadra; para hacer invariable el ángulo que forma el cincho con la lima se puso una escuadra colocada á modo de palomilla. El arriostrado de las caras está hecho con llantas unidas á los cinchos y limas por medio de chapas de ensamble para la distribución de los roblones.


Fig. 664

La cubierta es de cobre repujado asentado sobre tablazón de madera sujeta á listones colocados según las secciones rectas. Las aristas son cuerpos salientes formados por dos piezas de madera que cojen en medio el alma de la lima.

El hueco central que dejan los enrayados se aprovecha para reparaciones, limpieza, etc. y permite armar la flecha sin necesidad de andamio, subiendo cada tronco de la pirámide por el ya colocado.

Flechas sobre cruceros.— No tienen aquí la importancia que en la madera, porque no puede haber la compenetración que existía entre la flecha y la armadura, pues ya sabemos que no se puede someter el hierro á esfuerzos de flexión; por eso no se sigue aquel procedimiento, y las flechas se construyen del modo que se hizo la de la catedral de Colonia, que primeramente se proyectó de piedra, pero se desistió de ello por el mucho peso. La flecha se compone, en rigor, de dos partes: 1.º el basamento destinado á apoyarse sobre el trasdós de los arcos torales, y al cual vienen á intestar las armaduras; 2.º la flecha propiamente dicha sustentada por dicho basamento.

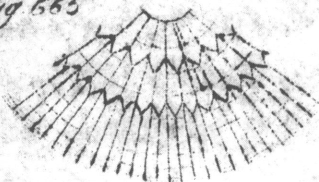
Para construir la que hemos citado se enrasaron los arcos torales y se transformó la planta cuadrada en octogonal por medio de trompas; encima se colocó un anillo de sillería en el que se apoyan ocho soportes de hierro colado, huecos é inclinados, formando una pirámide octogonal truncada, sobre la que se levanta un cuerpo prismático destinado á volar las cubiertas y á dar mas esbeltez á la aguja; este cuerpo está formado por ocho soportes de palastro y termina en un anillo que sirve de asiento á la flecha propiamente dicha. (V. las láminas)

Cúpulas.— Constituyen una de las aplicaciones mas antiguas del hierro dulce, y su estructura es sencillísima comparada con la de las cúpulas de hierro colado que ya hemos descrito.

Ejemplo 1.º Cúpula de la catedral de Mainz.— Es

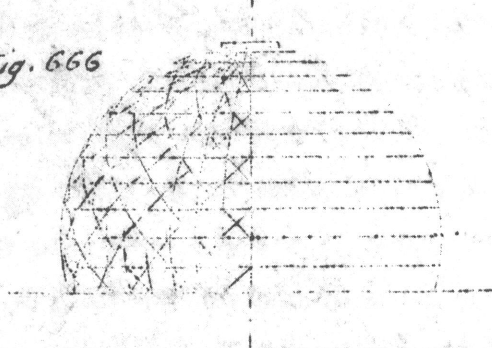
una de las mas antiguas y la construyó Möller, y como entonces no se empleaban hierros de formas especiales, observó los principios establecidos por él mismo para las cúpulas de madera. En el sentido de los meridianos se colocaron cerchas de llanta (Fig. 665), de las que no todas llegaban al vértice, pues la mitad se detenían en un anillo intermedio, donde se contrarrestaban con piezas oblícuas y de las restantes se interrumpió otra mitad en un anillo mas alto y en la misma forma que las anteriores. Estas cerchas se mantienen en su plano por medio de cinchos colocados según los paralelos, pero no de simples llantas, sino formando verdaderos enrayados que á la vez que sirven para impedir toda deformación hacen invariable el ángulo del cincho con la llanta, merced á un tornapunta. ([illegible])

Fig 665



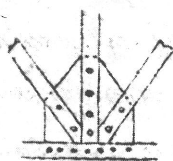
Ejemplo 22. – Cúpula de la Sinagoga de Berlin. – Es mas moderna que la anterior y en su construcción ya pudieron emplearse hierros de escuadra. La cúpula tiene en la planta 13 metros de diámetro; según los meridianos se colocaron 36 cerchas (Fig. 666) hechas de escuadras de 0m,065 de ala, y cuya forma es la de la sección de la cúpula, es decir, arco de herradura; dichas cerchas están roblonadas en el vértice á una chapa de palastro toda vez que no hay lucernario, y para asentarlas se estableció al pie de cada una de ellas una plancha de hierro colado recibida con cemento y sujeta por un perno que atraviesa el arco de sillería que corona la fábrica y termina

Fig. 666



por la parte inferior en una tuerca y chapas alojadas en el mechinal correspondiente. El poco asiento que podía hacer la escuadra, dada su pequeña sección, se suple con dos hierros cosidos á sus alas y que en planta forman una T; el colocado en el sentido del radio de la cúpula se enlaza á la plancha de asiento por medio de dos escuadras, y el otro por una en forma de aro que coje todas las cerchas por su pié; el ángulo de esta escuadra es igual al que forman con un plano horizontal las cerchas en sus arranques.

En el sentido de los paralelos se colocaron 12 cinchos hechos de escuadra de las mismas dimensiones que las de las cerchas, y los trapecios resultantes en la superficie se arriostraron con llantas. La unión entre cinchos, llantas y diagonales se hace por medio de chapas de ensamble (Fig. 667) Claro está que no es necesario triangular todos los trapecios; basta hacerlo en uno sí y otro no, según se indica en la figura 666 (V. las láminas)

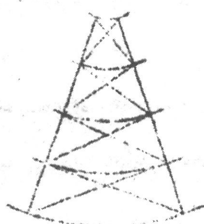

Fig. 667

Ejemplo 3º- Cúpula de gran importancia - La disposición es la misma, variando solo la composición de algunos de sus elementos; así, las cerchas tendrán que ser piezas de celosía formadas por dos cordones y las intermedias que sean necesarias, y pueden tener sección variable según lo exija la distribución de los esfuerzos. (V. las láminas)

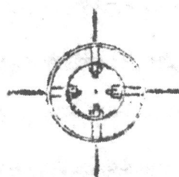
Armaduras cupuliformes. - Se emplean para cubrir espacios poligonales ó circulares, como circos, panoramas, gasómetros, depósitos de locomotoras, etc. - Aunque tienen gran analogía con las cúpulas, se asemejan mas á las armaduras de pabellón, y, como para estas, pueden seguirse dos métodos distintos en su construcción: consiste uno en colocar las cerchas siguiendo los radios del polígono ó circulo

de planta, enlazando cada dos vértices opuestos con tirantes, y á las cerchas se les adicionan las piezas que sean necesarias, lo que tiene el inconveniente de que se obstruye el espacio y solo pueden hacerse techos planos.

El otro método consiste en suprimir los tirantes, estableciendo un zunchiaro de llanta que coja todas las cerchas por su pié y sea capaz de anular su empuje; tambien puede suprimirse las demas piezas interiores, poniendo á diferentes alturas, segun las de las cerchas, zonas de aro (Fig. 668), y triangulando los trapecios que resultan con varillas en la forma que ya se ha dicho varias veces, y para la union de estas varillas y de las


Fig. 668

cerchas y cinchos se ponen chapas de ensamble. En el punto de cruce de las diagonales suele colocarse un aro de hierro colado (Fig. 669) que permite variar la tension de las varillas y rectificar la posicion de las cerchas en su plano vertical. Estas armaduras son aplicables á casos hasta de 40 metros de luz, pudiendo hacerse las cerchas de celosía con seccion de I de alas desiguales; el primer anillo se hace de llanta, y los demas, que van á estar comprimidos, de hierro de escuadra ó de T.


Fig. 669

II. Armaduras mixtas de madera y hierro.

Esta combinacion está motivada por dos causas principales: primeramente la economia en el coste, y despues la necesidad del clavado de listones ó de tablas que cierta clase de cubiertas exije. Está, ademas, justificada por la

cuestión de aspecto, pues hay determinadas formas que con la madera se obtienen fácilmente y con el hierro sólo se consiguen á costa de grandes dimensiones.

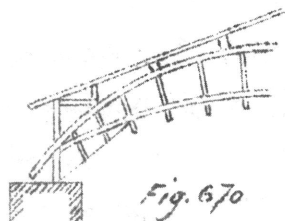
Lo esencial en este caso es determinar la forma en que ha de hacerse la combinación para que cada material sólo desarrolle su resistencia propia, así es que no deben amalgamarse los dos, pues resultaría que en tanto uno de ellos trabajaba al límite, al trabajo del otro le faltaría mucho para llegar á su límite; como regla general puede establecerse que el hierro se emplea para las piezas sometidas á esfuerzos de tracción, y la madera para las comprimidas ó que trabajen por flexión.

Ejemplo 1º Formas antiguas, mas ó menos complicadas, con tornapuntas, puentes, etc.; en la composición de los cuchillos entran los dos materiales (V. las láminas).

Ejemplo 2º Modificaciones de la armadura Polonceau y sus derivadas, propuestas por Emy: los pares y manguetas son de madera, y las demás piezas de varilla. Si los pares no son simétricos, el pendolón central debe hacerse de madera. (V. las láminas)

Ejemplo 3º - Armadura para la cubierta del salón de Contrataciones de la Bolsa de Berlin, de 25 metros de luz. - Los dos materiales aparecen completamente separados, el hierro en los cuchillos, y la madera en los entramados de los planos de cubierta. Los cuchillos son piezas falciformes, cuya sección general es la de I de alas desiguales, habiéndose reservado en la parte inferior un pequeño apéndice, prolongación del alma, para colgar el encasetonado, que es de metal repujado; las piezas oblicuas son llantas unidas por un simple roblón á las verticales. Todo el cuchillo está montado sobre rodillos de dilatación.

Los planos de cubierta se han establecido facilmente poniendo en los puntos de tangencia con el cuchillo correas de madera apoyadas en cojinetes de hierro colado (Fig. 670); para sostener el caballete se estableció en el vértice una tirantilla ó pendolón, y lo mismo en el vértice inferior ó arranque.

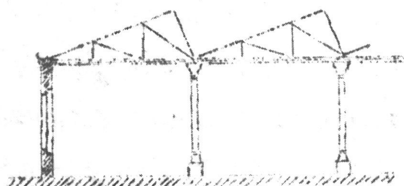

Fig. 670

Para el perfecto arriostrado que los cuchillos necesitaban, se pusieron primeramente correas, y luego diagonales que enlazaran el punto mas alto de cada manguela con el mas bajo de la correspondiente en el cuchillo inmediato (V. las láminas).

Armaduras de formas especiales.

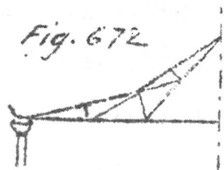
Antes de dar por terminado el estudio de las armaduras vamos á indicar algo acerca de algunas clases especiales en que los tendidos dejan de estar formados por un solo plano.

1° Armaduras de perfil de sierra - Son útiles para establecimientos industriales; se disponen dividiendo en crujías el espacio que se quiere cubrir por medio de columnas de hierro, sobre las que se apoyan los cuchillos, que tienen la particularidad de que sus tendidos son desiguales (Fig. 671); el mayor se cubre siguiendo los procedimientos ordinarios, y el menor con vidrios para dejar paso á la luz. En estas armaduras hay que cuidar mucho de la vijilancia y limpieza de las limas hoyas paralelas á la fachada principal, y se procura darles pendientes con-


Fig. 671

trapendientes para que las aguas refluyan á las bajadas que las conducen á una alcantarilla general, para lo cual suelen utilizarse las columnas, que á este efecto se hacen huecas.

2.º Armaduras de perfil quebrantado - Son muy convenientes en los paises en que nieva mucho, pues la mayor inclinación que se dá á la parte superior de los cuchillos (Fig. 672), que es la que va acristalada favorece el resbalamiento ó caida de la nieve y así ésta no llega nunca á aglomerarse en cantidad que pueda impedir la entrada de la luz. (V. las láminas).


Fig. 672

Cubiertas metálicas.

Para completar el estudio del techo vamos á exponer algunas consideraciones acerca de las cubiertas metálicas. En general pueden emplearse para este objeto todos los metales que sean maleables, pero en la práctica se limitan al zinc, plomo, hierro en palastro, y algunas veces el cobre; los dos primeros son, sin embargo, los de mas uso, pero la disposición general de la cubierta es la misma para todos ellos.

Cubiertas de zinc. - Este metal se adapta perfectamente á las cubiertas por sus especiales condiciones: se puede reducir á hojas que se doblan en frio y se cortan con facilidad; su tenacidad es grande y su peso pequeño; expuesto á la intemperie se cubre bien pronto de una costra ó pátina que le preserva de la accion destructora de los agentes atmosféricos, y, sin embargo, ofrece tambien sus inconvenientes: su aspecto no es muy bueno, pues esa pátina que hemos

dicho se forma no tiene un color uniforme y las manchas que presentan impresionan mal la vista; las aguas sucias descomponen con su contacto el zinc, y este á su vez altera las aguas llovedizas, impidiendo su aprovechamiento; se descompone así mismo si se asienta sobre maderas no desangradas ó sobre una cama de yeso y cal que no esté bien seca, por lo que conviene siempre poner un papel embreado intermedio. Otro defecto muy importante que tiene el metal que nos ocupa es el de la dilatación, lo que exige que se tomen las debidas precauciones, pues si no, pronto se abollaría la cubierta lo que luego produce quiebras, y esto se evita disponiendo las chapas de tal modo que puedan dilatarse y contraerse libremente. Otra mala propiedad del zinc es la de ser muy buen conductor del calor, por lo que no puede emplearse en cubiertas de espacios que hayan de ser habitados. Por último, existen ciertos insectos que atacan al zinc, aunque esto no sucede con la exajeración que en la madera.

El comercio presenta este metal en chapas de dimensiones variables, pero suficientes para nuestras construcciones; los gruesos se marcan por números, en lo que procuran las fábricas unificarse; los que empleamos con mas frecuencia son los números 10 al 16 de la Real Compañía Asturiana; los gruesos correspondientes son:

Números	10	11	12	13	14	15	16
Grueso en m/m	0.50	0.58	0.66	0.74	0.82	0.95	1.08

Las planchas miden 2 metros de largo y 0m 80 de ancho; las de los números 10, 11 y 12 se emplean para canalones, bajadas de aguas, impostas, etc.; las del 13 y 14 para cubiertas y las del 15 y 16 para formar limas. También se obtienen planchas onduladas de 2m 25 de largo por 0m 75 de ancho, que se emplean para cubrir armaduras ligeras. Lo que de-

be hacerse cuando se trata de fijar el grueso del zinc, es dar el peso por metro cuadrado mejor que marcar el número.

Para colocar el zinc en obra hay que tener presente como principio general que debe eliminarse toda clavazón y las soldaduras. Propone Demané que, una vez entablada la armadura se asienten las chapas clavándolas por el borde superior y dejando libre el inferior

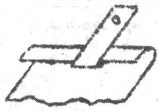

Fig. 673

embordándose los estados (Fig. 673); pero los embordados se obstruyen pronto y en cierto modo se sueldan las chapas, siendo necesario deshacer aquellos para la limpieza que hay que practicar con frecuencia. A fin de evitar esto ideó el mismo Demané poner una especie de sombrero ó cubrejunta, que tampoco dé resultado.

Mas conveniente es el procedimiento de dejar entre las chapas un listón sobre el cual viene una tira de zinc á modo de tapajuntas; la clavazón desaparece por completo, pues las uniones horizontales se hacen con embordados (Fig. 674) Las chapas se cuelgan por su borde superior con grapas de zinc clavadas en el


Fig. 674

entablado: por el extremo inferior cada chapa solapa sobre la siguiente embordándose las dos de modo que cojan en medio la grapa, que sujeta la última (Fig. 675); para que los nervios ó cordones que así se forman no queden resaltados, se establece el entablado en escalones que se correspondan con aquellos. Ya hemos dicho que en el sentido de


Fig. 675

las líneas de máxima pendiente se establecen listones de forma trapezoidal (Fig. 676) siendo la base inferior de 5 %m, la superior de 3, y la altura de 4 — Esta forma de la sección tiene la ventaja de facilitar el movimiento de las chapas por efecto


Fig. 676

de la dilatación. Sobre las caras laterales de los listones se doblan las chapas, y todo se cubre con las tapajuntas, que van clavadas por el borde superior al listón, y por el inferior pueden dejarse libres, pero si se teme que el viento pueda levantarlas, se sueldan por la cara interna superior un gatillo ó pequeña grapa, ó se ponen unas tiras de zinc también en la parte interna de las caras laterales, soldadas solo en los extremos y que son cogidas por la tapajunta siguiente inferior. El doblado de las tapajuntas sobre las chapas debe hacerse de modo que haya poca superficie en contacto para evitar los efectos de la capilaridad (V. las láminas)

Este sistema presenta una infinidad de variantes, así, si se considera que las chapas queda poco sujeta al listón, se embordan con las tapajuntas, ó lo que es mejor, y este es el procedimiento adoptado por la Real Compañía Asturiana, se colocan por debajo del listón unas grapas de zinc, tiene la (Fig. 677), que luego se doblan cojiendo los bordes de las chapas, estas grapas, que se hacen de zinc del nº 15, se ponen dos en el ancho de la chapa, y se les da la forma de tiras de unos tres centímetros de ancho.



Fig. 677

Otra variante consiste en establecer los listones invertidos, es decir la cara menor sobre el entablado, con lo que se consigue un poco mas de holgura.

Al doblar las chapas debe tenerse en cuenta que en los sitios donde hay un embordado se reunen cuatro gruesos; para evitar la dificultad que esto entraña, al hacer el doblado se evita quitando un pequeño triángulo.

Cubiertas de zinc ondeado. — No son de gran aplicación para edificios monumentales; solo se emplean, generalmente en construcciones de caracter provisional. El

ondeado puede estar formado por curvas ó por rectas y curvas. Por la mucha rigidez del zinc ondulado puede suprimirse el entablado de la cubierta y parte de las correas. En sentido de la máxima pendiente se sujetan las chapas por el solapo de la última onda de una de ellas con la primera de la siguiente, y algunos proponen el empleo de pequeños roblones del mismo metal, lo que ahora no ofrece inconveniente porque los efectos de la dilatación se pierden en el ondeado. Para las uniones horizontales también se hacen solapos, variables según la pendiente, desde 0m10 en adelante.

Para la sujeción de las chapas á la armadura se establecen correas de madera serradiza, poniendo tres según el largo de la chapa, ó solamente las dos de los extremos: en dichas correas se clavan grapas de zinc fuerte, las que entran en unos anillos soldados á aquellas por la parte superior, que de este modo quedan como colgadas, y la que llega al caballete se cierra con una lámina de zinc también que se dobla por la otra orilla y se emborda con la que cubre dicho caballete.

Las correas pueden ser escuadras de hierro apoyadas en los pares, y entonces se podrían colgar de ellas las chapas, pero es mejor poner unas grapas de zinc que envuelve la escuadra y forma el gatillo de enganche. La forma de esta grapa se varía si las correas en vez de ser escuadras tienen sección de T ó cualquiera otra.

Cubiertas de plomo. — Tiene el plomo condiciones muy apropiadas para este uso, pero es mas caro que el zinc, á lo que contribuye el exigir mayores espesores; en cambio se conserva mejor y la pátina que le cubre es de color uniforme y le dá muy buen aspecto; también su duración es mayor y se puede andar sobre él. En resumen, solo su

gran peso y el ser mas caro, aunque se compensa en parte, porque el plomo siempre tiene valor, hacen que su empleo para cubiertas no se halle mas generalizado. Sin embargo, tambien tiene, como el zinc, sus inconvenientes: se altera por el contacto de la cal y del yeso cuando este está fresco, así como por el del hierro si concurre la presencia del agua y del ácido carbónico de la atmósfera, y altera á su vez las aguas potables en tanto mayor grado cuanto mas puras sean. Por último, observaremos que siendo el plomo menos tenaz que el zinc se adapta mas fácilmente á las superficies curvas.

El plomo se presenta de dos modos: colado y laminado: el primero, obtenido por fusion, se llama tambien de arena, y el segundo de cilindro; los resultados no son los mismos pues el laminado es de menos duracion que el colado, así como el plomo antiguo dura mas que el moderno. En el comercio se expende en chapas que llegan hasta 2 metros de ancho por 7 ú 8 de largo; los gruesos se marcan por números que no se corresponden con los del zinc; los mas corrientes son:

Números	1	2	3	4	5	6
Grueso en m/m	1	1,5	2	2,5	2,8	3

encargándolas á las fábricas pueden tenerse mayores espesores; para nuestros usos son suficientes chapas de 0m84 á 0m88 de lado y de los números 3 al 6; en las cubiertas se suele emplear el nº 3 ó el 4, algunas veces el 5.

Los procedimientos para establecer una cubierta de plomo varían algo de los seguidos en las de zinc, pues ahora hay que tener en cuenta que la libre dilatacion no puede verificarse por efecto del gran rozamiento sobre el tablado que produce el mucho peso del metal y que impide todo movimiento de las chapas. Veamos, por tanto, cual es la disposicion admitida para las cubiertas de plomo.

1º Cubiertas planas — Sobre el entablado ó guarnecido y siguiendo la línea de máxima pendiente, se establecen listones de sección trapezoidal (Fig. 678) pero con muy acentuada entre los anchos de sus bases, pues el plomo no se puede doblar sino en ángulos muy obtusos, no porque se rompa, sino porque al ser casi vertical la parte de chapa doblada se aplastaría por su propio peso. Aquí no hay tapajuntas; cada dos chapas contiguas se embordan sobre el listón, teniendo cuidado de hacer el embordado en sentido contrario á la dirección de los vientos reinantes en la localidad. En sentido horizontal no puede hacerse el embordado porque también se aplastaría por su propio peso; el procedimiento es solapar las chapas clavándolas por la parte superior, pero no junto al borde, pues se desgarrarían, sino introduciendolas entre las juntas de las tablas y haciendo el clavado por dentro (Fig. 679). Para que no levante el viento las chapas se sujeta el borde inferior con dos grapas de cinc fuerte ó de cobre, clavadas en las tablas. Este sistema presenta otras variantes mas complicadas según puede verse en las láminas.

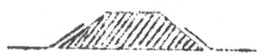


Fig. 678

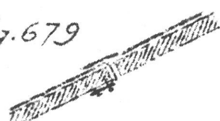


Fig. 679

2º. Cubiertas para cúpulas — Ya dijimos que el plomo se presta muy bien para este objeto, pero hay observar algunas precauciones. En primer lugar, la mucha pendiente de la cúpula en el arranque hace que las chapas queden casi colgadas, por lo que el clavado exije un cuidado especial; además, no pueden establecerse embordados salientes, pues ejerciendo el viento libremente su acción sobre ellos, no tardaría en deshacerlos. Para cubrir una cúpula se empieza por enlistonar la armadura, y luego se colocan las chapas clavadas por su borde superior, mas para evi-

tar el desgarramiento se tiene cuidado de hacer doble el listón en los sitios correspondientes á los bordes de chapas (Fig. 680), y entre ellos se introducen estas y se sacan por arriba, completando la sujeción los clavos que atraviesan las tres piezas; por el borde inferior se sujetan con grapas clavadas en los listones. En el sentido de los meridianos se establecen embordados que se alojan en una canal revestida de plomo con una tira de chapa sujeta también por medio de grapas. (Fig. 681) V. las láminas.

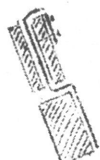


Fig. 680



Fig. 681

Cubiertas de palastro.- Son muy poco empleadas porque este material se altera mucho por la acción de los agentes atmosféricos, lo que no se evita ni aun galvanizándole; solo tiene alguna aplicación el palastro ondulado, y se pone en obra siguiendo las instrucciones que dimos para el zinc de la misma clase.

Cubiertas de cobre.- El cobre es un metal que se emplea para cubiertas en condiciones inmejorables y produce á la vista un magnífico efecto; sin embargo, por resultar excesivamente elevado su coste, se reserva solo para obras verdaderamente monumentales.

Accidentes que pueden presentarse en las armaduras

1º Caballetes y limas tesas - Supongamos que se trata de una cubierta de zinc, y vamos á ver como se dispone el caballete: se coloca un listón de sección trapezoidal, cuya cara inferior presenta una escotadura (Fig. 682) para adaptarse á la arista intersección de los dos tendidos; debajo de este listón se

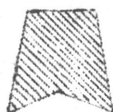


Fig. 682

ponen las grapas que luego se doblan sobre el borde de las últimas chapas de lo tendido después de habertas adaptado á las caras del listón; este se cubre con las tapajuntas correspondientes que aquí serán horizontales, y que se enlazan unas con otras como ya dijimos; como para la colocación de estas tapajuntas estorban las de lo tendido, hay que esvatarlas en los puntos en que vienen á intestar los últimos, y para tener seguridad de que el agua no penetra por esa junta, se sueldan en los extremos de las tapajuntas de los faldones unas chapas que las cierran y que vienen á adaptarse sobre las caras del listón del caballete (Fig. 683), y sobre ellas es donde se establece luego la tapajuntas horizontal. Si en lugar de un caballete se tratara de una lima tesa, la solución es completamente análoga.

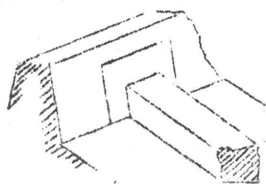


Fig. 683

2º. Limas hoyas – Se pueden hacer de zinc, pero ni este metal se presta muy bien á ello ni permite el paso por encima y hay que construir una escalera hecha con barrotillos de hierro. Por lo general, las limas hoyas se hacen de plomo, que se amolda bien á las superficies curvas y tiene mayor duración á la vez que puede andarse sobre él

Debe procurarse dar á la lima bastante desahogo, no haciéndolas de menos de media hoja, ó sean 0m 42 de desarrollo. Primeramente se establece una cama de yeso que se corre con una pequeña terraja, y después de bien seca, se extienden las chapas de plomo, clavándolas por el borde superior; el inferior queda libre solapando sobre la hoja siguiente; por los costados se embordan con las chapas adyacentes, si la cubierta es metálica, ó se introduce debajo de

de las tejas. Si la lima tiene poca pendiente, conviene hacer la cama escalonada para que el agua no penetre por las juntas.

Canalones y bajadas — Trataremos, en primer lugar, de las diversas disposiciones que se dan á las canales, que se designan tambien con el nombre de canalones, que no hay que confundir con las gárgolas, que antes se designaban con la misma denominacion. Lo mas sencillo, si hay alero, es dejar la canal libre ó exenta sostenida por hierros clavados á los canecillos; esto tiene el inconveniente de ser de mal aspecto y de que no resulta para terminacion del edificio una linea recta y horizontal por las pendientes y contrapendientes que hay que dejar para que el agua afluya á las bajadas; tales inconvenientes se evitan empleando canalones dobles, uno horizontal que es el que se ve, y dentro de este otro con las pendientes necesarias; mas sencillo es poner delante del canalon una cresteria ó antepecho de zinc ó de madera, ó mejor todavia, una moldura de aquel metal simulando un cimacio, cuyo fondo tiene salida por medio de gárgolas. La cuestion se resuelve de un modo completo por medio de una lima colocada al pié de la armadura (Fig. 684), teniendo cuidado de dejar el borde exterior mas bajo que el interior para que si el agua se desborda no caiga del lado de las armaduras; á este efecto lleva la lima en su borde externo un vierte-aguas. Si la cornisa es de piedra se cubre toda la lima con una chapa que se revuelve sobre el borde exterior, pudiendo detenerse allí ó bajar á cubrir todo el vierte-aguas; por el lado opuesto se coje por debajo de las tejas, ó se emborda con las chapas metálicas para que el agua no se detenga en las juntas y penetre por


Fig. 684

ellas, se escalona el fondo, doblando los bordes de las chapas de modo que el de la que solapa caiga y el de la siguiente suba.

El agua recogida en las canales tiene que ser desalojada, lo que puede tener lugar por medio de gárgolas, pero como esto resulta muy molesto, mas generalizado se halla el empleo de tubos de bajada, que suelen ser de plomo, de 1/3 ó 1/2 de plancha, haciéndose la union de los bordes por solapo ó con tapajunta, pudiendo soldarse, lo que da mejor resultado que la hilera. Para el mismo objeto se fabrican tubos de hierro colado de espesores muy pequeños y cuya union se hace por enchufe; estos tubos deben emplearse, sino en toda la bajada, por lo menos hasta la altura de 2 ó 3 metros sobre la rasante de la calle. Con objeto de poder corregir fácilmente las averías, es mejor que las bajadas de agua queden al descubierto, sujetándolas con horquillas provistas de espigas para clavar en la fábrica; pero como esto exije la decoracion de la fachada, se puede evitar alojando los tubos en cajas que se dejan en el muro, guarnecidas interiormente con baldosín cojido con cemento ó con cemento solo; por la parte exterior se cubre la caja con una chapa de metal ó de madera que se quite fácilmente cuando haya que hacer reparaciones. La bajada se une con la canal por medio de una pieza llamada caldereta, (Fig. 685) en la que se establece una rejilla para evitar los atranques por la introduccion de materias extrañas; estas rejillas deben ser de forma semiesférica que no se obstruyen tan fácilmente como las planas, y dispuestas de modo que puedan quitarse para las reparaciones y limpieza. Las bajadas no deben verter en la calle, sino en atarjeas.

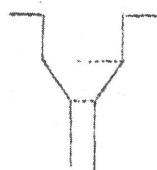


Fig. 685

Azoteas - Suelen construirse con planchas de zinc, pero su resultado no es satisfactorio. Como son cubiertas que á la vez han de servir de pavimento, si se hicieran los embordados salientes, se aplastarían, por lo que es preciso alojarlos en canales formadas sobre una cama de yeso construida sobre las bovedillas, si las hay, y si nó sobre listones (Fig. 686), siguiendo el sentido de las líneas de máxima pendiente. Dichas canales se revisten de zinc, y se establecen 2 ó 3 grapas en la longitud correspondiente á cada chapa, y sobre ellas se hacen luego los embordados.



Fig. 686

EL SOPORTE Y LA PARED.

I. Soportes de hierro.- Tienen gran aplicación y necesitan, por tanto, un detenido estudio; pueden ser clasificados en dos grandes grupos:

1º Apoyos de hierro colado.

2º Apoyos de hierro dulce.

Los primeros son los mas generalmente usados, pues resisten perfectamente á la compresión, son mas económicos que los de hierro dulce y se prestan fácilmente á diversidad de formas; sin embargo, modernamente y gracias á la variedad de perfiles que van dando los laminadores se emplean con frecuencia los apoyos de hierro dulce, que tienen su verdadera aplicación en los soportes de gran importancia, como luego veremos.

Apoyos de hierro colado.- Su sección es la circular, á no ser en casos excepcionales, como cuando se unen á cercos de vidrieras, y en otros análogos en que han de ser prismáticos; la forma cilíndrica interrumpe menos la circulación y da mas facilidades al fundidor.

Las columnas pueden ser macizas ó huecas; las primeras tienen la ventaja de ocupar menos espacio; las segundas resisten mas á igualdad de presiones y de áreas de resistencia, á la vez que dejan mas ocultos los defectos de la

la fundición. La gris es la que mas se presta para este uso, y tiene la ventaja sobre la blanca de permitir que se reparen los detalles y se presta mejor al moldeado. Tratándose del hierro colado surje desde luego una cuestion, que es determinar el límite de las dimensiones de los soportes; estos debe darlos el fundidor, y veamos para ello como se funde una columna: lo primero que se hace es un modelo de madera, de dimensiones algo mayores que las verdaderas teniendo en cuenta la contraccion del metal al enfriarse; con este modelo se hace un molde en arcilla que se rellena con el hierro en fusion valiéndose de cazos ó regueras; si la columna ha de ser hueca se coloca un macho de madera, llamado tambien alma, dentro del molde y perfectamente centrado para que no haya diferencias de espesor; mas si este macho fuera de mucha longitud, al estar apoyado solo por sus extremos, se produciria en la parte central una flecha, y por consiguiente habria descentracion; para evitarlo suelen colocarse apoyos intermedios de hierro dulce que luego quedan embebidos en la columna, pero lo mejor es fundirla de pié en fosas verticales. La altura de las columnas varía de 2 á 8 metros, y para hallar los espesores correspondientes, emplean los fundidores la fórmula

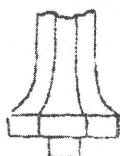
$$\omega - \omega' > \frac{2}{10}\,\omega,$$

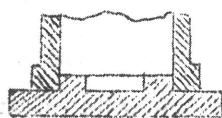
siendo ω el área total, ω' la del hueco, y $\omega - \omega'$ será por tanto la superficie de resistencia. Planat dice que los espesores deben ir creciendo con las alturas; asi, que si el diámetro no es superior á 0^m20, el espesor variará desde 0^m01 para una altura de 2 metros hasta 0^m03 para 8, pero si el diámetro aumenta extraordinariamente, lo mejor sería hacer las columnas de tambores unidos por bridas; sin embargo si aquel no difiere mucho de 0^m30, pueden admitirse que

sean de una sola pieza, con espesores de 0m.03 en adelante á no tratarse de casos excepcionales, como en las galerías de exposiciones, en que se puede limitar el grueso á 0m.02. La solución indicada de columnas múltiples tiene aplicación para los puentes.

La columna lleva basa y capitel que forman una sola pieza con el fuste; si encima del capitel se establecen ménsulas ó zapatones se funden aparte, á no ser de muy poca importancia. En los perfiles que se adopten debe tenerse en cuenta la dificultad de hacer correr el hierro en fusión por los sitios muy estrechos del molde.

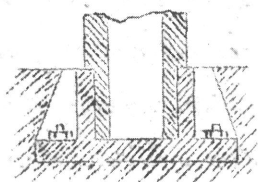
Vamos á ver ahora cual es la forma de una columna en alzado, y empezaremos por decir como se asienta sobre la obra de fábrica. Si esta es de sillería, el sillar sobre que aquella se coloque debe ser duro y resistente para soportar toda la presión que la columna le transmita; se abre en dicho sillar una caja donde entra una espiga que con este objeto se ha dejado en la columna (Fig. 687), y que será maciza ó hueca según lo sea aquella. Entre el metal y la piedra se puede poner una plancha de plomo dulce ó una capa de cemento para repartir mejor las presiones. Si la fábrica es de ladrillo, se establece para el asiento una plancha intermedia de hierro colado (Fig. 688), que repartiendo las presiones sobre mayor superficie, disminuye el coeficiente de trabajo del ladrillo; dicha placa ha de tener poco espesor y nervios salientes por la cara superior ó por la inferior, y se recibe con pernos sobre una capa de cemento si se teme algún esfuerzo que tienda á arrancar la columna; esto puede lle-


Fig. 687

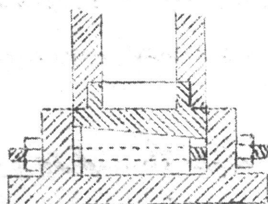

Fig. 688

var una espiga que penetra en un taladro practicado en la placa, ó, por el contrario, se deja en la segunda un botón que encaja en el hueco de la primera.

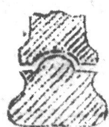
Puede ocurrir que las columnas estén expuestas á esfuerzos oblícuos de gran consideración, y en este caso no es bastante la disposición que antecede: es necesario adicionar una gran basa basa de hierro colado que puede estar empotrado en la fábrica ó en el terreno (Fig. 689); sería difícil obtener esta basa si hubiese de formar una sola pieza con la columna, pero se funden aparte y despues de colocada la primera en el cimiento es cuando se enchufa en ella la segunda.


Fig. 689

Si el soporte está destinado á sostener una viga continua, es preciso poder variar su longitud á voluntad; para ello se establece en la basa un aparato que permita que la columna se eleve ó descienda, y ese aparato puede ser un cojinete formado de dos partes: una fija á la placa de apoyo (Fig. 690) y sujeta con pernos de empotramiento, la otra movil, unida á la columna; entre ellas se pone una cuña que se introduce mas ó menos por la acción de un tornillo. Tal fué la disposición adoptada para las columnas de un viaducto construido en Berlín.

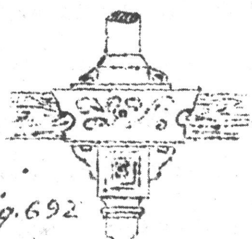

Fig. 690

Se requiere á veces que la columna sea susceptible de movimiento oscilatorio; entonces se dispone la basa de modo que el apoyo se verifique por medio de un juego de rodilla (Fig. 691) que se hace de bronce. El mismo sistema puede seguirse para la unión del fuste con el capitel.


Fig. 691

La terminación de la columna por la parte superior depende, naturalmente, del elemento que haya de sostener; si este es una carrera de madera que queda al descubierto, caso mas frecuente, se termina el soporte en una placa de hierro colado que le impide penetrar en la carrera; esta placa es sencilla, solo lleva en el centro un hueco donde encaja la espiga del capitel, y en los extremos uñas que se clavan en la madera. Dicha pieza puede sustituirse con un zapatón, mas ó menos decorado, que se une á la carrera con pasadores y tornillos, y tambien va provisto de una caja para recibir la espiga del capitel.

Puede ocurrir que sobre la carrera venga otra columna centrada con la inferior y entre las dos tienden á comprimir la carrera; se evita esto estableciendo una especie de caja de hierro colado (Fig. 692) por el medio de la cual pasa el madero. Esto da al mismo tiempo facilidad grande para reunir varias carreras, pues basta que dicha caja tenga los ramales necesarios para recibir los extremos de aquellas.


Fig. 692

Supongamos ahora que sobre el soporte se ha de apoyar una viga de hierro. Las soluciones de que disponemos para terminar la columna por la parte superior son muy variadas: puede ser suficiente poner en el capitel una ménsula que reciba la viga y se sujeta esta con pasadores que atraviesan su ala inferior; pero es mejor procedimiento el de combinar las ménsulas, que siempre deben ser establecidas porque dan mayor asiento, con cajas en las que quede embebida la viga de hierro despues de haber sido convenientemente acuñada y cojida con pasadores horizontales. Esta disposición se emplea con preferencia cuando

la viga va á dar asiento á un macho, para lo cual se interpone una plancha de fundición. Si hay enca de carreras, se dispone en la caja los huecos correspondientes á aquellas.

Si se trata de sostener un salmer de dintel ó de arco, no se emplea generalmente una columna única sino un grupo de cuatro, y todo se reduce á apear el salmer por medio de unas placas de hierro colado que se enlazan á las columnas por tabloneras. Para las bridas se dispone sobre la columna una pieza de hierro colado también, en forma de tronco de pirámide cuadrangular (Fig. 693) y que forma los cuatro salmeres de los arcos fajones ó formeros.

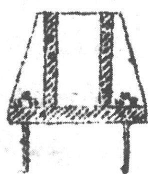


Fig. 693

Si las columnas han de continuarse hasta los pisos superiores, lo mejor es prescindir de las cajas y enlazarlas directamente, introduciendo cada una sobre la inferior, y si el caso es de importancia ha de verificarse una verdadera penetración (Fig. 694) de ambos elementos, apoyándose la brida de la columna de encima en la de la que está debajo, y se aseguran las unión con pernos. Las carreras y demás piezas horizontales descansan en ménsulas colocadas á la altura necesaria. También pueden hacerse las columnas independientes dando á cada una la altura del piso á que corresponda, y unirlas luego por medio de piezas de hierro colado, á modo de manguitos comprendidas en el grueso del entramado horizontal al que sirven de apoyo.

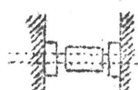


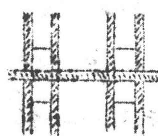
Fig. 694

Algunas veces, para evitar el empleo de columnas de mucho diámetro, se agrupan otras mas pequeñas, en cuyo caso debe tenerse en cuenta que la placa de asiento y la que se apoya sobre todas las columnas para recibir las cargas

han de ser comunes al grupo de soportes, y que debe procurarse enlazar estos entre sí en algún punto intermedio para evitar que nunca trabajen independientemente. Para conseguir esto se establece una pletina que abraza las columnas á modo cincho (Fig. 695), ó se taladran estas y se pasan pernos interponiendo piezas que eviten su aproximación (Fig. 696); algunas veces se aterrajan los pasadores en el espesor de una columna. El mejor procedimiento es hacer los soportes de varios trozos (Fig. 697), tres, por ejemplo, y enlazarlos por medio de manguitos generales, si bien estos son difíciles de fundir y requieren un esmero especial en el repasado de las superficies en contacto para que el ajuste sea perfecto; se tiene, sin embargo, con este sistema la ventaja de evitarse la fundición de piezas de gran longitud.


Fig. 695


Fig. 696


Fig. 697

Ya hemos dicho que no siempre se da á los soportes la forma circular, como ocurre en los que se colocan en las fachadas junto á ventanas ó puertas donde no conviene que la sección sea cilíndrica, y de aquí el adoptar otras especiales, como las de I ó triple T, aprovechando las alas para el enlace con los bastidores de los huecos; el nervio debe abrazar el muro superior, y para aligerarle se suele perforar. En la parte inferior se terminan con una platina, y para contrarrestar los cambios bruscos de sección se acompañan los arranques con nervios. El haberse adoptado la sección de I no es porque esté en mejores condiciones de resistencia, sino para poder alojar los cercos; estos soportes dejan, no obstante, mucho que desear, y para que la solución sea completa, debe emplearse el hierro dulce

Apoyos de hierro dulce – Tienen actualmente gran aplicación por la gran variedad de hierros laminados que suministran las fábricas; se forman de un modo muy sencillo con cuatro escuadras (Fig. 698) ó hierro en cruz, de cuadrante, etc. También se pueden formar agrupaciones de apoyos, que si se hacen de hierros de cuadrante se enlazan con facilidad con una chapa colocada según uno de los diámetros (Fig. 699) y cojida con las bridas. Estos apoyos pueden llegar á grandes longitudes, y á estas ventajas reunen la no menos importante de que su unión con los demás elementos de la estructura se hace con suma facilidad; tienen, sin embargo el inconveniente de que los nervios ó bridas quedan salientes y expuestos á choques á la vez que son un obstáculo para la circulación; pero á pesar de todo, ya hemos dicho que se emplean mucho, y tienen su verdadera aplicación cuando se combinan con la fábrica para formar la estructura de un edificio. Se hace toda la osatura de hierro y se cuaja con fábrica que no entra en la construcción sino, que como elemento de cerramiento; así, los suelos van sobre vigas maestras que se apoyan en las pilas metálicas y nó sobre la fábrica; en este caso los apoyos suelen ser tubulares, simples ó compuestos, formados con palastros y escuadras, y hasta pueden ser de celosía. El asiento se hace por medio de placas sobre un sillar y enlazadas al apoyo con escuadras roblonadas. Estos soportes son continuos hasta la armadura, y si los elementos que los componen lo exigen se enlazan por medio de tapajuntas; claro es que á los apoyos y á las alturas convenientes, se unirán las vigas de suelos, y en la parte superior los ti-

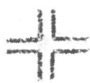


Fig. 698

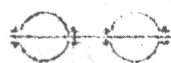


Fig. 699

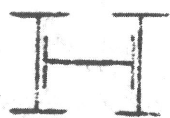
rantes de la armadura. Conviene facilitar el enlace de estos pilares con la fábrica, y á ese fin se dejan aletas formadas por palastros ó se ponen hierros de escuadra, que serán dobles cuando hayan de coger tabiques.

II. - Paredes de hierro.

Se componen de dos partes: el entramado y el tabicado. Empléanse poco, pues hay que darlas la estabilidad que pierden al disminuir la sección de las piezas, y, además, es preciso facilitar la unión de estas con el tabicado; todo esto requiere: 1.º establecer riostras frecuentes para mantener el entramado en su plano, y 2.º emplear cierta clase de hierros, algunas veces caros, susceptibles de enlazar bien con el tabicado. Sin embargo, hay casos en que estos entramados son imprescindibles, ya porque se vayan á colgar, ó bien porque sea necesario asegurarse contra el riesgo de un incendio.

Supongamos que se trata de un entramado de poco espesor y sujeto por otras traviesas; la disposición general es la de todos los entramados; los pies derechos, así como las carreras pueden ser hierros de I, y las uniones se hacen usando á los primeros hierros de escuadra á modo de palomillas; pero es preferible cortar el pie derecho en cada piso y hacer las carreras con piezas dobles, apoyándolas en aquellos (Fig. 700), y sobre estas se apoya á su vez el pie derecho del piso superior, que se enlaza con el de abajo por medio de una llanta unida con pernos. Si se desea mayor resistencia se forman los pies derechos con tres hierros de I, poniendo uno normal á los otros dos (Fig. 701), y uniéndolos entre sí con pernos en la parte inferior sobre una chapa, á las que se asientan almas de las I con el auxi-


Fig. 700


Fig. 701

lio de escuadras. A la altura de cada piso y para asentar las carreras, que son piezas dobles, se cortan las dos I laterales, pero no la central, que continúa en toda la longitud del soporte. (V. las láminas)

En algunos casos se constituyen los piés derechos con piezas especiales, como dobles escuadras de chapa de palastro y con hierros de cuadrante que se presentan á modo de nervios salientes. En los ángulos pueden hacerse distintas combinaciones, como las indicadas en las figuras 702, 703 y 704, admitiendo la última anchos interiores que sujetan mucho


Fig. 702


Fig. 703

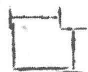

Fig. 704


Fig. 705

Estos entramados presentan complicaciones algunas veces, como por ejemplo en la Fábrica de Chocolates de Menier, según se ve en las láminas: los piés derechos están allí en forma de cruz, con una serie de escuadras combinadas con una T al exterior (Fig. 705) y por el lado interior dejando una especie de ascendente. (Véase la Enciclopedia de Arquitectura). Finalmente, como en los elementos de que nos ocupamos se desea la posibilidad de que puedan verificarse pequeños movimientos que den cierta elasticidad á la construcción, se hace que el pié derecho termine en una pieza de hierro de forma curva y la placa de asiento en otra, estableciéndose el contacto entre ambas por solo una generatriz (V. las láminas) sujetándolo todo con aletas y pasadores.

Los entramados de hierro pueden ser colgados, como sucede en un edificio moderno, una fonda en Viena, en el que se ha destinado la planta baja á salas de reunión, y por lo tanto habían de quedar espacios diáfanos, mientras que en los pisos superiores, distribuidos en habitaciones para

alojamiento, la subdivisión del espacio era extraordinaria. La disposición de las plantas era la indicada en la fig. 706; abajo, el comedor, por ejemplo, y en el piso de arriba cuartos á derecha é izquierda de un pasillo central, separados unos de otros por tabiques que no dan el debido aislamiento. Se hubiera resuelto el problema con columnas de fundición, como se ha hecho en otros hoteles, pero en el de que tratamos se siguió otro procedimiento: sobre muros de 0.m 50 de espesor, y utilizando las divisiones transversales del trazado, se puso una armadura javalconada con una sopanda y dos tornapuntas (Fig. 707); en cada piso se dispusieron luego dos vigas maestras, hechas con palastros y hierros especiales (V. las láminas), y después otras vigas de menor importancia para los tabiques transversales; los puntos a y b se corresponden por pendolones en cada piso, y las especie de riostras c d van en todos ellos colocadas análogamente; así viene á colgarse el entramado de la armadura superior, y la osatura se cuaja después en la forma corriente. En el sentido longitudinal la disposición es la que se indica en la figura 708.

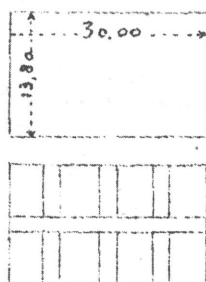
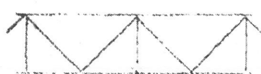


Fig. 706



Fig. 707


Fig. 708

Consignaremos algunos detalles: las vigas principales, de 0.m 75 de altura, se componen de un alma de palastro, dos hierros de escuadra y dos soleras en cada cabeza; en las vigas reciben las secundarias, de 0.m 35 las mayores y de 0.m 20 las menores, con unas palomillas de hierros de escuadra, convenientemente cosidas; las tornapuntas son de hierro de +, sujetas en los extremos á unas cajas con huecos dispuestos para recibir, además de dichas piezas, las sopandas donde las hay, y las vigas lon-

gitudinales de I (V. las láminas)

Los elementos de tiro son de hierro dulce, formados por llantas unidas á las vigas con cajas de hierro, recibiendo sus pasadores.

En un principio se hizo el cuajado de los huecos con palastro ondulado, y las ondulaciones rellenas con tubos de barro cocido sujetos con alambre cruzado, procedimiento que satisfacía perfectamente las condiciones de tener poco peso é insonoridad, pero habiendo ocurrido un incendio, se advirtió que los tubos servían para establecer el tiro, y por ellos se comunicó el fuego á otros pisos; en vista de esto, se empleó en la reconstrucción el ladrillo hueco, y de bastante grueso para el tabicado.

La armadura de la parte superior es de hierro colado, y esta es la parte mas debil de la obra.

APÉNDICES

I

CIMIENTOS

El cimiento es la parte inferior de los muros, la cual transmite la carga al terreno firme.

No puede precisarse bien donde empieza el cimiento; si hay sótanos puede decirse que es lo que se encuentra por debajo del solado; si no los hay, se entiende que aquel comienza á 0m.30 mas bajo que la rasante, que es donde suele hacerse un retallo al elevar el muro.

Las condiciones que requieren los cimientos merecen un estudio detenido, puesto que se trata de una parte de la construcción de la que depende la estabilidad de toda la obra, y esto que, además, son difíciles las reparaciones. Estudiaremos en primer lugar lo que al firme se refiere.

I - Condiciones del firme.

La primera es la resistencia á la compresión, entendiéndose para ello, que puede exigirse que el terreno soporte las cargas, pero no que sea completamente incompresible; basta que la compresibilidad no pase de ciertos límites y que sea general, para que los asientos sean también generales.

La capa ó estrato de fundación ha de tener el espesor conveniente, pues no basta que el terreno reuna buenas condiciones, es preciso también que ofrezca la resistencia nece-

saria con relacion á las cargas que va á soportar. Si dicha capa ó estrato presentara alguna inclinacion ha de ser de poca importancia, pues si fuere muy pronunciada habria el peligro de que el edificio resbalase, favoreciendo este movimiento la presencia del agua. Y, por ultimo, es preciso que el firme esté al abrigo de la humedad y de otras influencias que pudieran alterarle.

Los terrenos, por sus condiciones, pueden clasificarse en dos grandes grupos: 1.º Terrenos incompresibles ó muy buenos, que son los formados por capas de rocas no alterables, y 2.º Terrenos compresibles ó buenos, de arcilla compacta ó mezclada con arena; y los de grava, pero no removidos, se clasifican como medianos, cuando estan mezclados con arena movediza, y como malos ó muy malos los de turba y fangosos.

II - Reconocimiento del terreno. - Puede hacerse de las siguientes maneras: 1.ª por escavacion, zanjas, pozos, etc; la resistencia á la operacion del desmonte y las capas que se van presentando, dan las indicaciones necesarias; 2.ª por medio de la tienta-aguja, que es una varilla terminada por un extremo en punta, y por el otro en una T, que sirve de agarradero; su longitud es de 8 ó 10 pies, y su peso, unido á la accion del operador, hace que se introduzca en el suelo con mas ó menos facilidad, segun la naturaleza del terreno: en los muy buenos penetra muy poco, mientras que en los flojos entra perfectamente; hay que observar que este aparato dá á conocer la resistencia, pero no las demas condiciones de las capas, como la inclinacion, por ejemplo, asi es que solo debe emplearse para comprobaciones; 3.ª pilotes de ensayo, que son estacas de madera terminadas en un azuche por la parte inferior, y por la superior en un zuncho; se

clavan á mano ó con machina, y la resistencia á la introducción da á conocer la del terreno; este sistema es de mucha aplicación, especialmente cuando va á fundarse sobre pilotaje: 4º por taladros con herramientas especiales que estan formadas de varillas que pueden empalmarse, cuya parte superior remata en una palanca ó en una T que sirve de agarradero, y por abajo la terminación varía según la clase del terreno: si es de turba ó fango se emplea un cilindro hueco, y si se trata de atravesar rocas, una especie de barreno ó cincel; 5º por cargas de ensayo, procedimiento que consiste en cargar con sillares ó lingotes un área determinada y medir al cabo de cierto tiempo la depresión sufrida, para lo cual se habrán relacionado préviamente con otros fijos algunos puntos del terreno; desde luego se comprende que este sistema es de resultados mas precisos que los anteriores, pero no siempre es practicable por el tiempo que la experiencia exije.

III - Corrección ó mejora del terreno. - Si las pruebas hechas nos dan á conocer que el terreno es demasiado compresible hay que proceder á su corrección por uno de los siguientes medios: 1º por peso muerto, que consiste en cargar el terreno durante algun tiempo, pero no siempre se dispone de ese ni de elementos que den ese peso muerto; 2º por maceo ó compresión con el rodillo, maceando, ya sea á brazo ó con la machina, ó comprimiendo con el rodillo, sistema conveniente cuando el terreno no es elástico; 3º por riego; muchas arenas no necesitan mas; 4º por maceo sobre cascote calizo ó cascajos de piedra; si se colocan estos materiales en el fondo de las zanjas y se apisonan bien, puede obtenerse el efecto buscado; 5º por maceo sobre capas de piedra partida, que también es de buen resultado;

6.º por pilotes cortos, pequeñas estacas de uno ó dos metros de longitud, cuyo objeto no es llegar al suelo firme, sino comprimir entre ellos el terreno, formando un banco artificial que sirva de asiento á la construcción; 7.º por capas de arena: se desmonta el terreno, se echa arena y se riega ó comprime, sistema bueno cuando la arena no tiene escape; 8.º por petrificación ó fijación por medios químicos, regando el terreno con agua cargada de ciertas sales; 9.º por avenamiento del suelo; desaguando el terreno se consigue en muchas ocasiones fijarle; 10.º por sustitución del terreno malo por otro escojido; se desmonta el terreno malo sustituyéndole con otro de mejores condiciones, apisonándole perfectamente.

Condiciones del cimiento.

Suponiendo ya elegido el terreno sobre que va á levantarse la construcción, veamos á qué condiciones ha de satisfacer el cimiento; pueden reducirse á las siguientes:

I. Posición, forma y magnitud de la base del cimiento, correspondiendo á los esfuerzos que sobre él han de actuar.

Posición: debe ser normal á la dirección de la resultante de los esfuerzos; puede haber alguna diferencia, pero sin que esta llegue al ángulo de rozamiento.

Forma: se elegirá de tal modo que coincida el centro de gravedad con el de presión, ó que, por lo menos, este no salga del tercio central.

Magnitud: debe ser la necesaria para obtener un coeficiente de trabajo para el terreno que no exceda del coeficiente práctico que corresponda al mismo; esto obliga á que

el cimiento no sea exactamente igual á la base del pilar que sobre él ha de levantarse, y explica los retallos, zarpas, etc., y hasta que el rectángulo del cimiento no sea concéntrico con la base de aquél.

II. El cimiento debe estar asegurado contra todo asiento ó movimiento vertical que pueda producirse.

1.º por compresión del terreno, que no debe pasar de ciertos límites y ser uniforme, condición muy importante, pues si el asiento es desigual puede dar lugar á la desunión de los elementos. Para conseguir que la compresión no pase del debido límite, se debe asentar el cimiento sobre una capa lo menos compresible que se pueda, ya sea buscándola á mayor profundidad ó corrigiendo el terreno por los medios que hemos indicado; además, debe observarse si en lo sucesivo se conservará inalterable la resistencia del terreno, y si se prevén variaciones, se dispone desde luego el remedio oportuno; y, finalmente, hay que procurar que la carga sobre la unidad superficial de terreno sea lo menor posible, para lo cual se distribuye aquella sobre mayor número de puntos de apoyo, aumentando la extensión de la base, empleando arcos ó bóvedas invertidas, y dando mas profundidad á la fundación, para aumentar el rozamiento entre el cimiento y el terreno. Para conseguir que la compresión sea uniforme, deben observarse las prescripciones siguientes: con terreno de estructura igual y carga uniformemente repartida, dar á la base una forma tal que el centro de gravedad coincida con el de presión; en terreno de la misma condición y carga desigual, variar la forma del cimiento para que allí, donde la carga sea mayor, se reparta la presión, empleando los procedimientos que dejamos indicados mas arriba; en terreno no uniforme, disponer y

construir el cimiento de modo que no resulten asientos desiguales; para ello se aumenta en los puntos mas flojos la superficie de la base á fin de reducir las presiones; puede tambien elegirse un sistema de fundacion mas apropiado al caso que el de fábrica para resistir los esfuerzos de flexión, como emparrillados, capas de hormigón, etc. según lo exijan las variantes del terreno.

2.° Por escape ó desviacion lateral. - Puede ocurrir cuando el terreno firme se asienta sobre otro mas flojo que dé lugar á movimientos al ser comprimido; esto puede evitarse con el encajonado.

3.° Por la acción del agua - (Trataremos de este caso mas adelante).

4.° Por la influencia de otros agentes - (Id. id. id)

III. El cimiento debe estar igualmente asegurado contra todo resbalamiento ó desplazamiento lateral que pueda producirse.

1.° Por posición inconveniente de la base del cimiento, que podrá evitarse dando á la base dirección normal á la resultante de las presiones, siempre que para ello no haya grandes dificultades; si no es facil conseguir esa posición se puede aumentar el peso de la construcción, y, por tanto el rozamiento sobre la base; hacer mayor este rozamiento con durmientes y pilotes; dar mas profundidad al cimiento, establecer en el punto mas bajo un macho de contención; y, finalmente, banquear cuando la construcción tiene cierta longitud y está sometida á presiones verticales.

2.° Por la acción del agua ó de otras causas perturbadoras - (Se trata de ello mas adelante).

IV - Debe disponerse el cimiento de modo que esté al abrigo de la acción del agua y de otros agentes.

1º.- Acción del agua.- Puede manifestarse de diversos modos: humedad natural del terreno y que por efecto de las heladas disminuye su cohesión; se previene situando la base del cimiento á bastante profundidad para que esté al abrigo del hielo, á 0m 40 ó 0m 50 bajo la superficie; aguas de planta que á veces contienen en disolución ciertas substancias que ascendiendo á través de los macizos descomponen los materiales y las fábricas; en este caso se emplean capas aisladoras que impidan la penetración del agua, ó clases especiales de fábrica con el mismo objeto, ó se disponen sistemas de avenamiento ó desecación del terreno; aguas de manantial ó venas líquidas que atraviesan el terreno y lo reblandecen produciendo asientos, se previene descendiendo con la fundación hasta debajo de la capa permeable que facilite la salida del agua, ó se establece un sistema de avenamiento dispuesto convenientemente; aguas que corren por la superficie, particularmente las dotadas de alguna velocidad y que descalzan la construcción, pudiendo destruir las fábricas; para evitarlo cuando haya que construir junto á lagos, ríos, etc. se lleva la fundación hasta la profundidad necesaria, ó se proteje con tablestacados, escolleras ú otro medio de defensa; aguas que brotan bajo una presión grande y empujan los elementos de la construcción; es necesario oponer á la fuerza ascensional del agua un macizo que sea suficiente para obtener equilibrio.

2º. Acción de otras causas perturbadoras.- Entre ellas tenemos los cambios que pueden experimentar las capas superiores del terreno por desmontes, cortes, etc. facilitando los desplazamientos; los depósitos de aguas subterráneas ejerciendo acción sobre las capas que los cubren y sobre los cimientos; y las alteraciones de las capas inferiores por minas, ti-

neles y aguas que se presentan por lo general en esta clase de trabajos. Para prevenir dichos efectos no pueden darse reglas generales; solo indicaremos que para el resbalamiento deben oponerse macizos de contención, y para la rotura de las fábricas emplear construcciones mas resistentes á la tracción que las hechas con mortero.

Métodos para fundar.

Son varios, y su elección está sujeta á las siguientes circunstancias que deben ser siempre tenidas en cuenta: 1.ª la clase de construcción y modo como va á obrar sobre el cimiento; 2.ª las exigencias con relación á la clase de edificio; 3.ª las condiciones del terreno y distancia á que se presenta el firme, que puede ser á poca ó mucha profundidad, ó inaccesible; 4.ª la presencia del agua y posibilidad de su agotamiento; 5.ª las máquinas y materiales de que se dispone; 6.ª el tiempo con que se cuenta; y 7.º el coste del sistema.

Todos los distintos métodos de fundación pueden formar dos grupos: 1.º fundaciones sobre terreno natural; 2.º fundaciones sobre terreno artificial.

1.er grupo - Se refiere al caso en que el suelo de fundación sea roca, terreno resistente ó comprimido; se establece una plataforma horizontal ó se banquea, haciéndose lo mismo cuando se sustituye el terreno malo por otro bueno.

2.º grupo - Sobre base artificial. Comprende tres casos: 1.º que el firme esté á 3 metros; 2.º que esté á mayor profundidad no pasando de 10, 12 ó 15 metros; y 3.º que la profundidad exceda de estos límites.

En el primer caso se desmonta el terreno flojo y estan

mos dentro de la solución dada para el primer grupo.

En el segundo caso no se desmonte y se funda sobre pilares, sistema apropósito para terrenos echadizos y secos; se abre el pozo y dentro se constituye el pilar, empleando cuantos sean necesarios y se enlazan unos con otros por medio de arcos, sobre los cuales descansan los muros de fachada, traviesas, etc. Puede ocurrir que encuentre agua, y entonces se forma un cajón con tablones, si el terreno es flojo y se introduce en él y se vacía, empalmándole con otros sucesivos y formando así un tubo que luego se rellena y constituye el pilar. Pueden seguirse otros sistemas, como el de crear un terreno firme de arena pura y regada, y si hay mucha agua, se forma una escollera de piedra; emplear una capa de hormigón como antes la de arena; clavar pilotes que lleguen hasta el terreno firme enlazando las cabezas con un emparrillado; formar el emparrillado sin pilotaje; introducir pilotes de hierro con rosca cuando no se puede golpear; y, finalmente, hacer uso de cajones y columnas de hierro que se vacían por medio del aire comprimido y permiten la entrada del operario para ejecutar el trabajo. Todos estos sistemas pueden agruparse en dos clases: 1ª fundaciones sobre pilares aislados, y 2ª fundaciones sobre plataformas de cierta extensión.

En el tercer caso los métodos son también muy variables, dependiendo su elección de la presencia ó ausencia del agua, y, en el primer caso, de que sea agotable ó nó y subterránea ó descubierta. Podemos entonces disponer de los siguientes medios: ampliación del macizo; capa de hormigón ó de arena, escolleras, bóvedas invertidas, emparrillados, pilotaje para comprimir el terreno, pilotaje alto, pilotes de rosca, pozos, tubos, carga del terreno, etc.

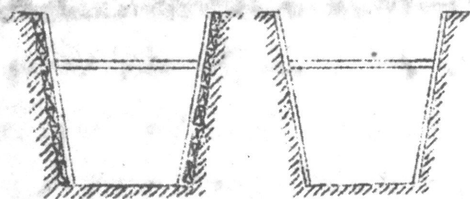
Reconocimiento del terreno.

Se emplean para esta operación diversas herramientas, entre ellas la tienta-aguja, pero ya dijimos que esta era más bien para comprobaciones, y es mejor emplear instrumentos cuya terminación sea de forma adecuada a la naturaleza del terreno que se va á reconocer; para ello se hace uso desde el diamante negro cuando se trata de cierta clase de rocas, hasta de un cilindro provisto de válvula y guarnillo para los terrenos fangosos (V. las láminas); esta herramienta se maneja por medio de una varilla que se mueve de arriba á abajo con una cabria, mientras que el movimiento de rotación se produce con una palanca. Se debe conservar notas de los terrenos que se presentan para llegar así al conocimiento de la naturaleza del terreno que se ensaya.

Al hacer estos reconocimientos hay que tener cuidado de entibar, recubriendo las paredes de la excavación con tablones que forman á modo de un tubo; estos tubos son difíciles de clavar, y para facilitar la acción del mazo, no se golpea directamente sobre los tablones, sino sobre una especie de tapón que reparte la acción del golpe sobre las cuatro paredes del tubo.

Estas entibaciones son aplicables al caso en que haya que abrir zanjas, con objeto de evitar desprendimientos que pudieran comprometer la vida de los operarios, y deben establecerse desde el momento en que la excavación tiene de profundidad la altura de un hombre. Para entibar se disponen tablas horizontales ó verticales (Fig. 709) y codales que vayan al lado opuesto, teniendo cuidado de

que las juntas queden de tal manera que por ellas no haya escapes de tierras, poniendo solapos ó tapajuntas, ó se ataludan las paredes para que no haya desprendimientos. Si solo hay una pared se acodala echando tornapuntas.


Fig. 709

Hemos dicho que los tablones pueden disponerse horizontal ó verticalmente, lo que no es indistinto pues cada sistema tiene sus ventajas y sus inconvenientes. en efecto, colocando las tablas en posición horizontal se aprovechan en todo su largo y no se deterioran tanto puesto que ninguna parte de ellas se introduce en el terreno, y además es muy facil ir aumentando la entibación á medida que la profundidad de la zanja aumenta, lo que proporciona alguna economía; en cambio, poniendo las tablas verticales, como por su extremo inferior se introducen en el terreno no se necesitan tantos codales, se pueden sacar con facilidad suma, y se evita mejor la entrada del agua por las juntas. Al hacer las entibaciones hay que cuidar de que los codales queden á suficiente altura para que dejen paso, y tambien debe prevenirse el caso de que hubiera que hacer agotamientos. Para esto pueden seguirse varios procedimientos, á saber: 1º Abrir alrededor un canal por donde corran las aguas en tanto se hacen las obras; 2º Abrir pozos en la dirección de las venas; 3º Emplear máquinas; 4º Si aparecen manantiales averiguar de donde vienen y abrir un agujero mas arriba, y 5º Poner un tubo que equilibre el agua para que esta no pueda subir.

Cuando se quiere hacer un agotamiento se emplean las ataguías, que consiste en una simple pared vertical formada con tablas; pero por este medio no es facil ais-

lar el espacio que se quiere agotar; en realidad este procedimiento solo sirve para agotamientos parciales; en otro caso es preciso hacer paredes de pilotes ó estacas con dos cantos labrados, que se clavan adosadas, y se calafatean las juntas; por la parte superior se enlazan con una cadena interior para evitar los movimientos debidos á la acción del agua (Fig. 710). Si esto fuera insuficiente se emplean ataguías de tierra, que pueden ser de paredes sencillas ó dobles; las primeras se forman con pilotes unidos por un cabecero superior (Fig. 711), tablas y un macizo de tierra; pueden ponerse los pilotes inclinados con los tornapuntas correspondientes (Fig. 712). Cuando las paredes son dobles, la disposición es la indicada en la figura 713. Además, pueden emplearse otros refuerzos, y si la altura es mucha se hacen las ataguías escalonadas, complicándose algo más el procedimiento.

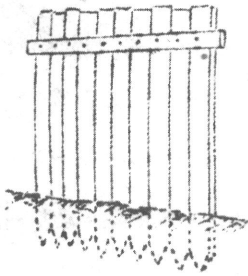


Fig. 710

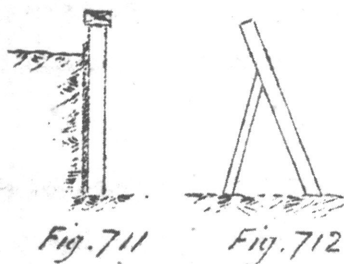


Fig. 711 Fig. 712

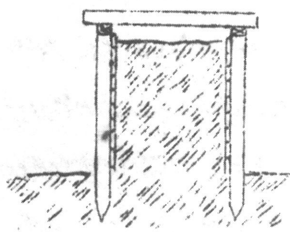


Fig. 713

Para los agotamientos cabe emplear cajones sin fondo que se sumergen y después se extrae el agua del interior por cualquiera de los procedimientos usuales.

Fábrica del cimiento

Ya sabemos que los cimientos pueden ser continuos ó interrumpidos, y tanto en un caso como en otro hay que tener presente algunas prescripciones con carácter general.

El material empleado ha de ser resistente é inalte-

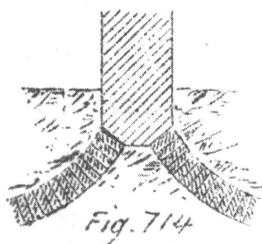
rable, toda vez que va á estar enterrado y en contacto con terrenos húmedos; por eso debe preferirse el sillarejo, ladrillo santo, etc., y algo de cemento en los morteros.

Si el terreno está en pendiente se banquea, procurando que los banqueos correspondan á machos que no sean muy exagerados, pues como el asiento no se hace por igual, se producirian quiebras, y para el caso de que estas se presenten, hay que evitar que correspondan á los arranques de las bóvedas; á veces es preferible dejar los machos independientes. En sentido transversal no conviene hacer banqueos.

Cuando haya que poner la construcción en condiciones de sufrir choques, se emplea en el cimiento el asfalto, formándose un hormigón con piedra partida, de cinco á seis centímetros.

En el cimiento no deben dejarse los huecos correspondientes á puertas y ventanas, sino hacerle todo corrido, y lo mismo cuando hay pilares, para que el asiento sea igual.

La manera mas conveniente de formar el cimiento es por hiladas horizontales, pero tambien se construye en forma de arco invertido (Fig. 714), con objeto de que las cargas se repartan mejor sobre el terreno, y en muchas ocasiones llegan á formarse verdaderas bóvedas. Esta disposición puede adoptarse tambien cuando se trata de evitar el levantamiento del terreno.


Fig. 714

Fundaciones sobre pilares.

El hacer un cimiento corrido puede ser caro si el firme está á gran profundidad; entonces debe fundarse sobre

pilares, teniendo en cuenta para situarlos la planta superior, á fin de que se correspondan con los machos, ángulos, etc.; la sección de estos pilares, que puede ser cuadrada, rectangular ó circular, se calcula según el coeficiente de trabajo. El material empleado es la mampostería con verdugadas de ladrillo.

El pozo exije entibaciones, y para esto se hacen unos marcos de madera, cuadrados ó rectangulares, con los que sujeta un revestimiento de tablas, evitando que por las juntas pueda deslizarse la tierra. Dos procedimientos hay para construir estos pozos:

El primero es el seguido por nuestros poceros, que dan al pozo sección circular, y el revestimiento va acompañando á la escavación; se empieza por hacer un desmonte de 0m70 á 0m80 de profundidad y se reviste construyéndose enseguida el primer anillo de fábrica; se sigue desmontando, y para que este anillo no quede al aire se le da apoyo en algunos puntos, hasta que se termina el segundo anillo, y así sucesivamente.

El otro procedimiento, llamado indio, consiste en construir sobre el terreno y en el sitio designado para el pozo, un anillo de fábrica de 2 ó 3 pies de alto; luego se procede al desmonte y el anillo desciende por su propio peso; sobre este se construye otro y se continúa desmontando por debajo del ya introducido, y el conjunto de los dos descenderá cuando la escavación lo permita, y del mismo modo se prosigue la operación. Este sistema requiere algún cuidado, pues es necesario que los dos anillos bajen por igual; para conseguirlo pueden hacerse enlaces con varillas de hierro que unan aquellos por la parte exterior, evitando su separación durante el descenso.

Una vez construido el pozo por cualquiera de los proce-

dimientos indicados, procede macizarle; para ello, desde la parte superior se echa la piedra, se arregla, y también desde arriba se arroja el mortero; baja el operario, enripia y apisona, quedando así formada la primera capa del relleno, repitiéndose esta operación cuantas veces sea necesario. Después de construidos los pilares se enlazan entre sí con arcos de medio punto ó rebajados, pero no mucho para evitar los empujes. Si se temen movimientos pueden construirse en las esquinas arcos botareles con sus correspondientes pozos, y también dejar endejas para que la fábrica de estos se enlace mejor con el terreno. Sobre los arcos se apoyan los muros de fachada, travesía, etc.

Fundación sobre plataformas.

El procedimiento consiste en formar una platafor-ma capaz de resistir las presiones de la construcción sin necesidad de llegar al terreno firme. Dos son los métodos que pueden seguirse: 1º Sobre capas de arena; 2º Sobre capa de hormigón.

Sobre capas de arena. Se hace una excavación y en el fondo se forma un banco ó lecho de arena de 1m.00 á 1m.50 de espesor, y se obtiene una plataforma que cumple las condiciones exigidas para soportar la construcción. Si nos fijamos un poco en lo que la experiencia nos enseña, vemos que la transmisión de las presiones se hace por líneas á 45° (Fig. 715), es decir, que se gana en ancho por la parte inferior de la capa de arena un espacio igual al doble de su altura.

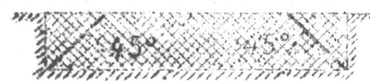


Fig. 715

Si la arena está encerrada se comprime algo, pero esta

compresión cesa al cabo de cierto tiempo y no se eleva la arena al hacer las cargas el asiento, y también ocurre que si en el fondo hay algún hueco, la arena no desciende por esto, sino que forma bóveda.

Aunque hemos dicho que el banco suele tener de 1m.00 á 1m.50, esta dimensión es variable y está relacionada con las cargas, pero nunca debe ser menor de 0m.75 ni exceder de 3m.00. La arena se extiende por tongadas de 0m.20 á 0m.30, y si el terreno no es bastante resistente para impedir que aquella se escape, para contenerla se construye un tablestacado.

Las dimensiones de la plataforma se calculan fácilmente conociendo las cargas y sabiendo que el coeficiente de resistencia es de 2 ó 3 kilógramos por centímetro cuadrado.

Sobre capa de hormigón. — Los macizos de hormigón son mas caros que los de arena, y generalmente solo se recurre á ellos cuando se teme la presencia del agua, en cuyo caso son de absoluta necesidad.

El macizo de hormigón ha de formar un todo homogéneo á modo de una losa artificial; su espesor depende de la calidad de los materiales empleados, de la naturaleza del terreno y de las cargas; siendo estas de 4 ó 5 kilógramos por centímetro cuadrado y el terreno muy compresible, debe ser de 1m.00 el espesor, reduciéndose á 0m.60 ó 0m.50 para cargas mas ligeras (2 ó 2.5 kgs. por cm.²) y terrenos menos compresibles; lo mejor es, sin embargo, determinar su espesor en cada caso particular por experiencias directas, colocando bloques sobre capas de hormigón de distinto grueso.

Los bancos de hormigón pueden ser generales ó parciales; son mejores los primeros, pero también se emplean los segundos cuando se trata de pilares aislados, en cuyo caso el hormigón ha de ser de muy buena calidad, lo mismo que cuando se teme

el resbalamiento del terreno.

El banco debe ser mayor que la base del edificio, pero no deben exagerarse las zarpas, que no pasarán de los 3/4 del espesor. Los macizos se ejecutan por tongadas de 15 á 30 centímetros de grueso, y se apisonan, ó lo que es mejor, se pasa el rodillo.

Estas operaciones pueden sufrir algunas complicaciones en el caso frecuente de que haya que luchar con la presencia del agua. Si ésta es corriente se forma por medio de tablestacado un recinto libre de ella, para la fundación, pero también pueden seguirse otros procedimientos según las circunstancias: siendo poca la cantidad de agua, se baja el hormigón con palas; si es mucha, se emplean cajas cuyo fondo puede abrirse á voluntad en el momento oportuno; se llenan de hormigón, se sumergen y luego se abre el fondo para que se deposite aquel; y, finalmente, tenemos las tolvas, que son una especie de pirámides huecas ó embudos que se llenan de hormigón y se van moviendo ordenadamente para que se vierta en el fondo ó suelo de la fundación.

Esta clase de cimiento se usa también en terrenos firmes como medio preventivo contra la acción de las aguas.

Fundación sobre madera

Pilotaje

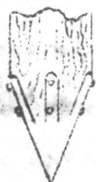
Los oficios que puede desempeñar el pilotaje son dos: 1º Atravesar el terreno flojo y llegar hasta el firme, y 2º Consolidar aquel sin necesidad de llegar hasta este.

Los pilotes han de ser de madera resistente; muchas ve-

ces se elijen de pino, porque dá piezas mas regulares y se facilita su introduccion en el terreno; pueden ser rollizos, y se alisa su superficie quitándoles la corteza; la albura se deja generalmente. Si los pilotes han de estar en contacto inmediato unos con otros, se hacen las piezas escuadradas en vez de cilíndricas. Las dimensiones se calculan por las cargas, teniendo presente que estas obran en sentido vertical y que la madera se altera por la accion del mazo y de la humedad. Perronet ha dado la siguiente fórmula:

$$\text{diámetro} = 0,24 + (l - 4,m) \times 0,015$$

Si el pilotaje es sencillo se aguzan las piezas por uno de sus extremos en forma de pirámide cuadrangular, que se tuesta un poco á fuego de llama; pero cuando hay que introducir el pilote á grandes profundidades, esta punta se convertiría bien pronto en un escobon; entonces es preciso calzarlos con azuches, que son puntas de acero provistas de cuatro bridas para la sujecion (Fig. 716) Cuando el terreno ofrece una resistencia extraordinaria, y es necesario protejer la madera que queda al descubierto entre las bridas, se sustituye dicho azuche por otro formado de palastro rollonado, que abraza en su vértice una punta de hierro dulce (V. las láminas). Tambien se construyen de hierro colado, pero son muy frágiles.


Fig. 716

Como la cabeza del pilote tiene que sufrir la accion del mazo ó de la machina, es necesario protejerla, y á este fin se emplea comunmente un cincho de hierro que se coloca un poco mas bajo que el plano de la cabeza del pilote para que aplastándose la madera que sobra por encima del cincho, impida que este se salga.

Si la profundidad no pasa de 3 metros se introducen los pilotes á golpe de mazo: para profundidades mayo-

ros se emplea la machina. Consiste esta en un bastidor de tal modo dispuesto que por dos guías verticales corre un mazo C que puede ser de madera con cinchos, ó de hierro, y unido á un cable que pasa por una polea colocada en la parte superior. Por el otro extremo dicho cable puede ser movido mecánicamente ó á brazo: en este último caso se hace que termine en varios ramales para que otros tantos operarios puedan ejercer su acción á la vez, teniendo en cuenta que el número de obreros, y, por tanto, el peso del mazo no pueden pasar de ciertos límites, pues se estorbarian unos á otros, y además, la dirección de los esfuerzos sería muy oblicua; como dato práctico diremos que para un mazo de 310 Kilogramos, el esfuerzo de cada operario supone 15 ó 16, y si el peso excede de la cifra indicada dicho esfuerzo se reduce á 13 ó 14 Kilogramos.

El movimiento del brazo es lo que determina la altura á que el mazo puede elevarse, y varía de 1.m20 á 1.m50; así pueden darse treinta golpes seguidos.

Tambien puede verificarse la elevación por medio de un torno, haciendose de un modo automático que el mazo se desprenda al llegar á la parte superior, para lo que se emplea una especie de tenazas que cojen aquel, pero cuyas ramas superiores, al tropezar con unos topes colocados en la parte mas alta de la machina, se cierran, mientras que las inferiores se abren y dejan caer el mazo (V. las láminas); este sistema tiene el inconveniente de que se pierde tiempo para que las tenazas vuelvan á bajar y pueda repetirse la operación. Se emplea tambien, arrollado al torno, un cable sin fin, provisto de topes que sucesivamente van cogiendo el mazo y elevándole; por último, la aplicación del vapor como fuerza motriz ha dado excelentes resultados en las diversas circunstancias en que se ha empleado (V. las láminas)

Para introducir un pilote hay que observar algunas precauciones; puede hincarse vertical ó inclinado, pero siempre hay que dirigirle y conservarle en la misma dirección por medio de ligaduras que le sujeten á las guías de la machina, ya sea poniéndole entre ellas ó delante, y sujetándole con cepos y pasadores. (V. las láminas) Cuando el pilote se desvía de su posición se procura corregirlo sujetándole mas á las guias, y hasta poniendo tornapuntas en sentido contrario; pero si esto no basta hay que sacarle y clavarle de nuevo á 30 ó 40 centímetros del lugar que antes ocupaba. Para el arranque se hace uso de la misma machina, habiendo diversos sistemas de atrinque para sujetar el cable al pilote, unos en forma de tenaza, otros de aro, etc.; el aro se coloca oblicuamente á la sección recta del pilote, y así impide que este se deslice, y aún podrá ser atravesado por una pequeña barra. (V. las láminas). Es muy conveniente golpear un poco el pilote durante la operación.

En el caso de que para evitar las vibraciones del terreno no convenga hincar los pilotes á golpe, pueden seguirse otros procedimientos.

En primer lugar se ha intentado practicar la hinca con el auxilio de la presión del agua; en efecto, si por uno de los costados del pilote se abre una caja para alojar una tubería en comunicación con otra donde esté el agua á gran presión, y el extremo de la primera se dirije hácia la punta de aquel, el agua al salir produciría un trabajo mecánico de desagregación del terreno, lo cual facilitaría la introducción del pilote.

Hasta aquí hemos supuesto que los pilotes eran de madera, pero tambien pueden ser metálicos, lo que no da mal

resultado. Puede emplearse el hierro colado, pero tiene el inconveniente de que se rompe con facilidad, y solo sirve para terrenos muy flojos y homogéneos.

Se ha propuesto introducir los pilotes armando su extremo inferior de una rosca que forma una especie de peana, muy conveniente y que dificulta mucho el que puedan ser arrancados, por lo que este sistema tiene mucha aplicación para fundaciones en la orilla del mar; tambien es conveniente cuando se quiere evitar el empleo del mazo.

En un principio se hicieron las roscas de hierro colado pero por la fragilidad de este metal se ha sustituido con palastro grueso. Hecha la rosca, se enchufa en el tubo de la caña del pilote, que puede ser de hierro ó de madera, sujetándola con pasadores. Si el terreno es flojo, la peana puede tener mayor extensión y estar los filetes mas separados que para los terrenos duros. Estos pilotes se introducen armando su cabeza de un cabrestante (V. las láminas)

Otra modificación que se ha hecho ha sido la de construir los pilotes huecos, y por su interior ir haciendo el vaciado para que descendieran, valiéndose de herramientas apropiadas, pero despues se ocurrió darles la capacidad necesaria para hacer el vaciado por medio de una máquina pneumática; como esto tenia el inconveniente de que solo era aplicable á terrenos flojos y homogéneos, se ideó otro procedimiento completamente opuesto, toda vez que está basado en la inyección del aire dentro del pilote, sistema que desde luego se ha aplicado para las fundaciones de los puentes, en los que las pilas no suelen ser mas que tubos cuya introducción se hace por el aire comprimido, auxiliandose con cargo de sillares. Pero tambien se ha empleado este procedimiento en muchos edificios, construyéndose un

cajón, de forma análoga á la del elemento que se vá á fundar, y provisto de aberturas: uno permite la entrada del aire, que queda comprimido en el interior, y otra la de los operarios, quedando intermedia y con las correspondientes válvulas, una cámara que permite el paso desde el exterior y el descenso de los materiales sin que se escape el aire almacenado (V. las láminas) Otros operarios construyen á la vez sobre el cajón hiladas del elemento que se va á fundar, y la operación termina rellenando la cámara con hormigón.

Tal es el procedimiento que se emplea cuando hay que fundar sobre terrenos flojos, como ocurrió en los almacenes del Printemps en París; la cámara se construyó de palastros y hierros especiales, su techo tenia la forma de pirámide truncada, y en el centro se estableció un tubo que llegaba hasta la parte superior, donde estaba la esclusa. La marcha de la operación es la siguiente: se aumenta la presión interior y cuando se ha desalojado el agua penetra el operario y con herradas va extrayendo las materias que contiene el interior de la cámara. Para no tener que sacar las herradas una á una, se van depositando los productos extraidos en la cámara intermedia, de donde se sacan cuando se ha reunido gran cantidad de ellos.

Los operarios trabajan al principio con alguna dificultad, pero se acostumbran pronto al exceso de presión, y tomando precauciones, al pasar de un medio ambiente al otro, pueden evitarse las alteraciones de la salud, resultando el procedimiento completamente inofensivo para los obreros. (V. las láminas, y para mas detalles consúltese la Revista de Ingenieros y Arquitectos de Hannover)

Cálculo de los pilotajes

Se presenta, desde luego, una cuestión en el pilotaje, que es averiguar hasta cuando debe proseguirse la hinca. En cada tanda de golpes el pilote avanza menos que en la anterior, y se trata de conocer en qué momento debe detenerse la operación sin llegar al rebote absoluto.

Demanet dice que no hay medio seguro para averiguar esto, pero que se pueden comparar los resultados de una carga por tiempo indefinido con los efectos producidos por el mazo, é igualar el trabajo de la carga permanente al de la carga accidental; pero esto no es exacto.

Rankine establece una hipótesis mas admisible, que conduce á una ecuación que puede considerarse como exacta; dice lo siguiente:

Sea L la longitud y ω la sección transversal de un pilote que opone cierta resistencia á introducirse en el terreno, producida por la dureza de este que presenta obstáculos á la penetración de la punta del pilote y por el rozamiento de la superficie lateral con las paredes del orificio. Esta diferencia que representaremos por R es vencida por el choque de la maza, que al caer sobre la cabeza del pilote produce en este una presión que crece á partir de cero muy rápidamente en un tiempo pequeñísimo. En los primeros momentos la presión es menor que la resistencia á la hinca, y el pilote, cuyo extremo inferior está inmovil y el superior comprimido, sufre un acortamiento l. La compresión tiene un límite máximo, que es R, pues cuando llega á este valor el pilote se introduce en el terreno.

Dedúcese de aquí que el trabajo PH que la maza, de peso P cayendo de la altura H ha almacenado al llegar á la cabeza del pilote se emplea en comprimirle primero y en introducirle en el terreno después.

El acortamiento l del pilote por efecto de una compresión R se hallará suponiendo que esta se reparta uniformemente en toda la longitud L y por tanto $\frac{R}{L}$ será la presión correspondiente á la unidad lineal, y $\frac{Rz}{L}$ la que experimenta el elemento ab de longitud dz situado á la distancia z del extremo superior (Fig. 717). El acortamiento que se produce en elemento ab es:

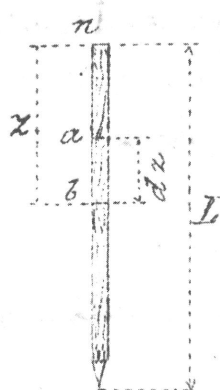


Fig. 717

$$\frac{\frac{Rz}{L}dz}{E\omega} = \frac{R}{LE\omega} z\,dz,$$

y en la altura $nb = z$

$$\frac{R}{LE\omega}\int_0^z z\,dz = \frac{Rz^2}{2LE\omega}.$$

Para todo el pilote es $z = L$, y el acortamiento total tiene por valor $l = \frac{RL}{2E\omega}$. Ahora bien, el trabajo debido á este acortamiento será:

$$\frac{RL}{2E\omega} \times R = \frac{R^2L}{2E\omega}.$$

Si el pilote se ha introducido en el terreno una cantidad e, el trabajo que se ha necesitado emplear para vencer la resistencia será Re. Resulta pués:

$$PH = \frac{R^2L}{2E\omega} + Re,$$

que es una ecuación que determina la resistencia R que ofrece el pilote para introducirse en el terreno en función de la penetración e originada por un golpe de la maza.

Tomando una fracción $\frac{1}{m}$ de R como se hace para

formar los coeficientes de trabajo en función de los de fractura respectivos, tendremos la carga que puede recibir un pilote deduciéndola de la penetración media por golpe de mazo que ha tenido en la última andanada. El límite superior de $\frac{1}{m}$ es $\frac{1}{5}$, lo cual equivale á decir que el coeficiente de seguridad m es 5 ó mayor que 5.

Por ejemplo, si la penetración en la última andanada de 30 golpes causada por una maza de 500 Kilogramos que cae desde una altura de 1m20 es de 0m12, á cada golpe corresponde por término medio $\frac{0.12}{30}$ = 0,0004 metros, y tendremos, suponiendo que los pilotes tienen 8 metros de longitud y 0m25 de diámetro, y haciendo $E = 10^9$ Kgs. por m²

$$L = 8, \quad \omega = 0{,}05\ m^2; \quad P = 500, \quad H = 1{,}20, \quad e = 0{,}004.$$

$$R^2 + 4 \times 10^5 \times R . 6 \times 10^{10} = 0$$

$$R = 65000 \text{ Kilogramos.}$$

Si se toma m = 8, la carga permanente que se podrá hacer soportar al pilote es $\frac{65.000}{8}$ = 8.125 Kilogramos

Cuando se llega al rechazo absoluto e es cero, y entonces

$$PH = \frac{R^2 L}{2E\omega}$$

La presión que sufre la madera es igual á R; así, en el ejemplo anterior tendrá por valor $\frac{R}{\omega} = \frac{65.000}{0{,}05} = 130 \times 10^4$ Kgs. por metro cuadrado, ó sean 130 Kgs. por cm²; cantidad muy considerable que indica lo que padece el material durante la hinca.

Un pilote de 8 metros de longitud y 0,05 mts². de sección, hincado con una maza de 600 Kgs. que cae de una altura de 1m20, puede ser cargado con los pesos siguientes para diversos valores de e, ó sea la penetración obtenida por golpe de maza en la última andanada, tomando

como coeficiente de seguridad para formar las cargas permanentes $m = 5$.

Hinca		Cargas		
Por andanada de 30 golpes — Metros	Por cada golpe — Metros	Total extrema R Kilogramos	Total permanente — Kilogramos	Permanente por cm.² de seccion del pilote Kilogramos.
0,01	0,00033	112 500	22 500	45
0,06	0,00200	98325	19671	39
0,12	0,00400	84000	16800	35
0,24	0,00800	62810	12562	25
0,36	0,01200	48750	9750	20
0,48	0,01600	37500	7500	15

Los ingenieros holandeses prescinden del trabajo debido al acortamiento del pilote que hemos expresado por el término $\frac{F^2L}{2E\omega}$ y emplean para determinar la resistencia F extrema que un pilote ofrece á la penetracion en el terreno, la fórmula

$$PH = Fc,$$

pero toman como coeficiente de seguridad $m = \frac{1}{20}$; de modo que la carga permanente P' que podrá soportar un pilote será

$$P' = \frac{F}{20} \quad ó \quad P' = \frac{PH}{20c}$$

siendo, como ya hemos dicho:

P, peso de la maza,

H, altura de la caida,

c, penetracion del pilote, originada por un golpe de maza. Se obtiene dividiendo la penetracion total, obtenida en una andanada de n golpes, por n

Siendo ω el área de la seccion transversal del pilote, y R' el coeficiente de trabajo, tendriamos además:

$$P' = R'\omega \quad ó \quad \frac{PH}{20c} = R'\omega$$

A R' se le suele hacer igual á 30, 35 ó 40 kilogramos por cm.²; y en general, es prudente contar con las causas de destruccion de los pilotes, la humedad entre otras, y adoptar coeficientes no muy elevados.

Emparrillados

Han perdido importancia desde que se ha elevado el precio de la madera y se ha facilitado el empleo del hormigon. Los emparrillados pueden establecerse asentados directamente sobre el terreno ó sirviendo de complemento de los pilotajes.

El emparrillado mas sencillo es el formado por tablas, ya sea en una sola tongada ó en dos, en cuyo caso se disponen cruzadas y se colocan en el fondo de la zanja; pero la madera empleada en tales condiciones se destruye facilmente.

Vienen luego los emparrillados formados con maderos colocados normalmente unos á otros, con entalladuras á un tercio del grueso y enclavijados si es preciso. Los espacios ó cajas que resultan se rellenan con hormigon hasta enrasar, y sobre esta base se levanta la construccion. Estos emparrillados tienen la desventaja de que se conservan mal si no están constantemente sumergidos en el agua, y hoy se reemplazan por el hormigon.

Hemos dicho antes que el emparrillado puede

servir de complemento al pilotaje, viniendo á descansar sobre las cabezas de los pilotes, á los que se habrá dejado una espiga al tiempo de aserrarlos despues de clavados, para que sirva de enlace con el emparrillado (Fig. 718). El sistema no deja de presentar dificultades; así tenemos: 1º si los pilotes de una fila no están bién alineados

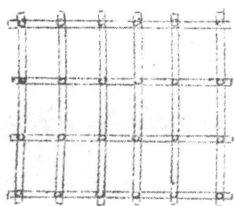


Fig. 718

es muy dificil unirlos con las piezas del emparrillado; para evitar este inconveniente hay que disponerlos bien desde un principio ó complementar la cabeza del pilote que no esté en línea con una pieza supletoria; 2º si los pilotes están debajo del agua no es fácil ejecutar las operaciones necesarias para dejar la espiga; en este caso se sierran los pilotes de nivel y se sujeta á ellos el emparrillado con pasadores ó agujas de hierro.

II

OBRAS COMPLEMENTARIAS.

Después de haber estudiado todos los elementos del edificio, así como el modo de darles un asiento perfecto, hemos de ocuparnos de una série de obras que forman una seccion especial, cuya carácter distintivo es el tener una importancia grande en lo que se refiere á la conservacion del edificio, decoracion, comodidad, etc, y no tanta respecto de su oficio constructivo.

A esta seccion pertenecen: 1º las obras cuyo objeto es protejer y conservar los edificios; tales son los enfoscados, estucos, revestidos, guarnecidos, etc.; 2º las que afectan á la ornamentacion, como pintura, empapelado, corrido de molduras, etc.; 3º las que sirven para proporcionar comodidad al edificio: las escalinatas, escaleras, rampas, miradores, y otras; 4º las necesarias para la formacion de cerramientos movibles, puertas, ventanas, etc., y todo lo que á ellos se refiere, como los herrajes de colgar y de seguridad; 5º las de limpieza y saneamiento, como atarjeas, sifones, etc; 6º las de distribucion de aguas limpias; y 7º la construccion de fogones.

Entre todas estas obras solo en dos de ellas se presenta el problema constructivo como digno de estudio: en los mira-

dores y en las escaleras.

I. Miradores y suelos volados de balcones.

Se construyen de piedra ó de hierro por lo general, pocas veces de madera. Cuando es la piedra el material empleado, todo se reduce á construir una repisa volada que si no es posible hacer de una pieza se emplean las necesarias, teniendo cuidado de que por las juntas no pueda penetrar el agua; si es preciso se colocan ménsulas.

Cuando se trata de madera se establecen juegos de palomillas que apean una carrera, á la que van á parar maderillos que tienen su correspondiente entrega en el muro de fachada.

Si se emplea el hierro el sistema de construcción consiste en establecer palomillas sobre las que descansa la carrera de terminación, y en esta se apoyan á su vez las bovedillas (Fig. 719). Si nos fijamos en el modo de trabajar de cada una de las piezas, se verá que la A necesita ser reforzada con el tirante ab y gatillo en b, y en cambio el jabalcón deberá serlo con una placa colocada en E con objeto de que dicha pieza no penetre en la fábrica.

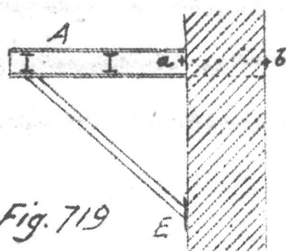


Fig. 719

El caso es mas complicado cuando hay varios pisos y en ellos elementos superpuestos cargando unos sobre otros. Si se trata de un mirador cerrado con vidrieras, habrá un nuevo peso que sumar al de los elementos sustentantes, lo que obliga á emplear otros, sin perjuicio de establecer en cada piso vigas empotradas. En la parte superior se colocan unas á modo de palo-

millas invertidas, protegidas por una armadura á un agua y provista de su tirante de varilla que queda por debajo de la cubierta (Fig. 720); dichas palomillas permiten colgar los miradores inferiores, teniéndose cuidado si se establecen soportes de hierro, como en el caso de que se quiera decorar, de hacer que la varilla pase por dentro hasta la parte inferior; los entrepaños se forman con vidrieras rasgadas, y los techos con cielo-raso. Claro es que esto no tiene en España sino relativa importancia, pero la tiene grandísima en Alemania por ser país muy lluvioso.

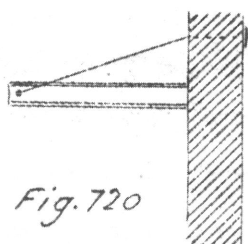


Fig. 720

Un caso análogo se presenta en los teatros, donde no se admiten columnas, y hay que volar los pisos, utilizando para hacer el colgado la pendiente que se forma por la inclinación que necesariamente hay que dar á los asientos. Desde luego se procura que la viga tenga la mayor entrega posible, cogiéndola todo el ancho del pasillo, es decir, apoyándose sobre dos traviesas (Fig. 721).

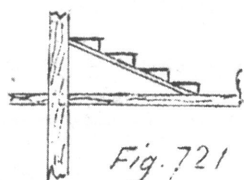


Fig. 721

II.- Escaleras.

Las de piedra se estudian en Estereotomía, y aquí solo hemos de ocuparnos de los sistemas de construcción.

Primeramente tenemos las escalinatas, en las que los peldaños se apoyan sobre dos muretes retallados con proporciones convenientes. Si la longitud de los peldaños lo exije se aumenta el número de los muretes.

En las escaleras, si son de paso ancho, se puede poner un murete interior que limite el ojo, y apoyan-

do en él y en el muro de la caja los peldaños queda la escalera construida (Fig. 722). Tal es el sistema adoptado para las escaleras de caracol, y solo es aplicable en ciertos edificios, por ejemplo, en un manicomio, donde hay que evitar que los dementes puedan arrojarse por el hueco central de aquella, que así queda completamente cerrado.

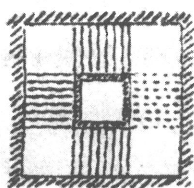


Fig. 722

La primera modificación que se ocurre á dicho sistema es abrir el muro del ojo, limitándole con pilares unidos por arcos por tranquil y sobre el trasdós de estos apoyar los escalones; tiene esto el inconveniente de que, siendo perfectamente aplicable al caso de que los peldaños sean de una pieza, deja de serlo cuando no concurre esa circunstancia; entonces es preciso establecer una bóveda apoyada en los arcos por tranquil y en los muros de la caja, y sobre ella descansan los peldaños; para las mesillas se establecen trompas, y así se van resolviendo cuantas dificultades se presenten.

Pero hay que observar que los pilares, arcos, etc, interrumpen el espacio y producen un mal aspecto que el decorado no puede quitar; esto llevó á suprimir los apoyos exteriores, empotrando los peldaños en el muro de la caja y dejándolos libres por la parte del hueco central; pueden reforzarse por este extremo con elementos enlazados entre sí constituyendo la zanca, que puede ser independiente ó no del peldaño; si esta zanca no fuera precisa, se suprime y queda la escalera al aire.

Los problemas que ofrece la construcción de escaleras de ladrillo se resuelven del mismo modo, atendiendo con especial cuidado al elemento de unión: yeso, cemento, etc.

Se forma primero la bóveda, de dos ó tres hojas, y sobre su trasdós se construye el peldaño prismático, revistiéndole de azulejos ú otro material análogo.

Para la construcción de las escaleras de madera existen varios sistemas:

1.° Escaleras llamadas de mano, constituidas, de modo parecido á las escalinatas, por dos montantes y varios travesaños. Algunas veces tienen cierta importancia y se forman por dos tablones con entalladuras que reciben los peldaños de tablón tambien; se emplean generalmente para bajadas de sótanos.

2.° Consiste en establecer almas ó apoyos verticales, y de unos á otros zancas ó piezas inclinadas. Supongamos que la planta de la escalera sea la abcd (Fig. 723); establezcamos en a'b'c'd' almas ó postes verticales que comprendan toda la altura sin interrupción alguna, y luego unamos dichos postes por las piezas inclinadas a'b', b'c', c'd', d'a', ..., y así habremos formado un armazón que hace muy fácil el establecimiento de los peldaños prismáticos, formado cada uno con una huella horizontal (Fig. 724) y una contrahuella ó tabica vertical. Los tablones de la huella son recibidos en unas ranuras de las zancas, quedando todo el escalonado comprendido dentro del espesor de estas.

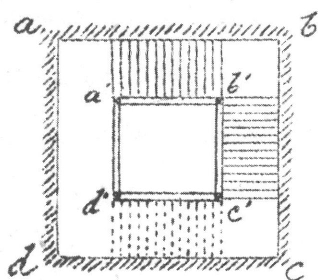


Fig 723

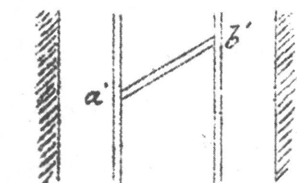


Fig. 724

Ofrece dicho sistema los mismos inconvenientes de que hablamos al tratar de las escaleras de piedra, pues las almas, llegando hasta arriba, producen muy mal aspecto; por eso

se han suprimido esas piezas, dejando de ellas solo las porciones necesarias para recibir las espigas de las zancas; pero como de este modo no habria equilibrio entre estas y aquellas es necesario establecer puentes de contrarresto a b (Fig. 725). Estas escaleras son las llamada de zanca y pilarote.

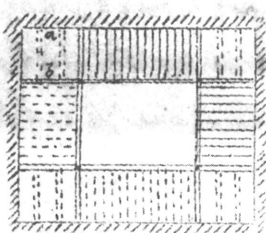


Fig. 725

En el caso de que el ojo de la escalera sea muy pequeño pueden sustituirse cada dos pilarotes próximos por uno curvo, y aún de este se suprime todo lo que no sea puramente preciso, pues así se disminuye la brusquedad del cambio de altura, del pasamanos, y esto puede hacerse mediante una pieza elipsoidal llamada cubillo, de forma y dimensiones convenientes para recibir las dos zancas, la puente y el pasamanos (Fig. 726). El elipsoide del cubillo se hará dejando al interior una de las aristas de la pieza escogida.

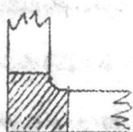


Fig. 726

También pueden modificarse las zancas endentándolas en vez de embeber el escalón en su altura, (Fig. 727) quedando así mayor anchura para el paso de la escalera, pues se gana lo que vuela la huella sobre la zanca b; la barandilla se une entonces á esta b por medio de un pequeño codillo en que remata el extremo inferior del balaustre. Para que el cajeado no debilite la zanca debe hacerse en la forma que indica la figura 728.

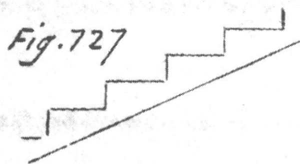


Fig. 727

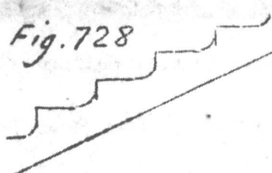


Fig. 728

Tales son las escaleras llamadas á la francesa, pero antes de terminar su estudio consignaremos algunos detalles de construcción

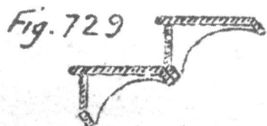
La unión de la zanca con el cubillo se hace por espiga en la primera y caja en el segundo, poniendo, para mayor sujeción, pasadores aterrajados que atraviesan las dos piezas. Los tiros no suelen largos, pero si sucede lo contrario conviene atirantar la zanca con el muro de caja por medio de una pletina cojida con patillas en la fábrica.

Los primeros peldaños pueden hacerse de piedra embarbillando en ellos las zancas. La parte inferior de los tiros se cubre con un tablero ó zófito de madera ó con un encañado, y luego revestido, teniendo cuidado de clavarle en la zanca y en el muro para que el cielo raso así formado no participe de los movimientos de los peldaños. Si la escalera es de gran importancia se coloca en la parte inferior un tablero armado como los de las puertas con traveraños, etc., y sujeto, por la razón ya dicha á los listones que van desde la zanca al muro.

Las escaleras de caracol se construyen tambien de madera y vienen á ser el resumen de las de alma, pero el nabo tiene que ser una pieza contínua con los empalmes precisos, labrándose en él las cajas para recibir los peldaños

Vamos á tratar ahora de las escaleras de hierro en las que cabe distinguir dos grupos: escaleras de hierro colado, y escaleras de hierro dulce. Las primeras van cayendo en desuso por los inconvenientes inherentes á la naturaleza del material, como su mucho peso y el no poder sufrir choques bruscos que le rompen sin anuncio preciso; y finalmente, por que el roce alisa mucho la superficie, aunque esto puede atenuarse estriando la huella de los escalones.

El sistema de su construccion es el explicado para las escaleras de piedra: los escalones pueden ir empotrados en los muros de la caja y libres por el otro extremo. Para quitar peso inútil se hacen huecos los peldaños, teniendo la precaución de preparar las juntas para sujetar unos á otros con pasadores. (Fig. 729)


Fig. 729

Sin embargo de que, como se ha dicho, estas escaleras van siendo abandonadas, se emplea bastante la de caracol, formado por peldaños que llevan un trozo de nabo hueco, trozos que se van ensartando y se sujetan ademas con pasadores ó tornillos; el nabo puede ir unido á la tabica ó á la huella, pero nunca á las dos. Los peldaños van provistos al exterior de unas palomillas mas ó menos decoradas, que á la vez que refuerzan el extremo libre, sirven para sostener la barandilla.

Las escaleras de hierro dulce son las que mejor resuelven todas las dificultades; pero hemos de notar que hoy se tiende á que el hierro solo sea elemento de estructura y no materia única, pues se deteriora y alisa haciéndose resbaladizo.

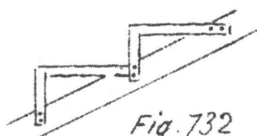
Distinguiremos, por tanto, dos grupos:

1º Escaleras de estructura de hierro y cubiertas con maderas finas, mármoles, etc. El sistema de construcción es análogo al de las escaleras de zancas y pilarotes, con las diferencias consiguientes á la diversa naturaleza del material. Las zancas se hacen de vigas laminadas, de alma calada generalmente, terminando en apoyos de hierro colado ó dulce, y el enlace de estas zancas se hace sobre puentes, cosidas por escuadras que se unen al alma de dichas puentes. Como aquí los pilarotes no tienen

buena aplicación, pues resultan pesados, se hacen en los ángulos pequeños apoyos que son de mejor aspecto, ó se emplean puentes corridos. Una vez armada la escalera se ponen los peldaños sujetos al alma con hierros de escuadra. (Fig. 730). Para mayor sencillez puede hacerse la zanca dentada, para lo cual se emplea un cuadradillo, al cual se da la forma conveniente con dobladuras ó acodilladuras (Fig. 731); el mismo resultado se consigue con palastro cajeado, y también puede formarse la zanca por llantas convenientemente unidas y sujetas (Fig. 732)


Fig. 730


Fig. 731


Fig. 732

Por exigencias decorativas en algunos casos se revisten las zancas con tableros de madera, ó piezas de barro cocido.

2º. Escaleras forjadas, que se forman con una especie de entramado, colocando dos ó tres zancas, y mas si es preciso, constituidas por vigas de T.

Los peldaños se preparan con hierros de cuadradillo ó con trozos de escuadra, y todo el entramado se forja con botes ó ladrillos huecos. Ejemplo de esta clase de escaleras es la de la Gran Ópera de París.

Volviendo al primer grupo, y como detalle, diremos que la barandilla se fija á la zanca ó bien por el procedimiento llamado á la francesa, ó colocándola sobre los mismos peldaños, para lo cual se deja en estos una caja que reciba el parador ó varilla del balaustre.

En las paredes de la caja de escalera se empotran los peldaños, y también pueden apoyarse sobre una contrazanca adosada al muro.

En las escaleras de caracol, comprendidas en el mismo grupo, el peldaño está formado en general, por dos

trozos independientes, la huella y la tabica, llevando uno de ellos un ojo, que viene á formar la parte de nabo correspondiente, y que entra en una barra de metal sólidamente empotrada por su base en un sillar ó caja de fundición; la huella y la contra-huella se unen formando escuadra y cogidas, como ya se dijo, con pasadores; también se enlazan á ranura y lengüeta, ó dejando en una de ellas una oreja que se atornilla á la otra. Ambas piezas se hacen con dibujos calados para darlas ligereza y mejor aspecto. Por el otro extremo los peldaños se apoyan en el muro de la caja, y si van al aire, que es lo mas frecuente, se apoyan en palomillas, que también sirven para sujetar los balaustres. El uso de estas escaleras, con muchas variantes en los detalles, es muy general.

Las escaleras del 2º grupo se construyen con los tiros rectos formados de vigas de I laminadas, y cuyo número varía según el ancho de la escalera; dichas vigas se sujetan en la parte inferior con cajas de fundición embebidas en basas de piedra, y arriba se unen con escuadras á las vigas de igual forma y clase ó de palastro que colocan para puentes de mesilla.

El suelo inclinado se forja colocando transversalmente al tramo enganches de cuadradillo, y sujetos con alambres de cobre se ponen otros normales á los primeros; con esta cuadrícula se sostiene el relleno de botes ó de cualquier otro de los materiales indicados al tratar de los suelos, y encima se colocan las losas ó planchas de la clase que se quiera y sea á propósito para formar las huellas y tabicas.

Por este procedimiento se han construido las grandes escaleras modernas, como la ya citada del Teatro de la Ópera y las de la Casa de Correos de París, pues reunen todas las ventajas de las de piedra y no tienen sus inconvenientes.

Las escaleras de hierro dulce se han empleado con ventaja sobre las de fundición en cuanto á resistencia y ligereza. Son muy fáciles de construir, y convenientes en edificios industriales, donde no exijen aspecto monumental. Se hacen por el sistema de zancas con vigas T ó I, y algunas veces con dos dobles llantas acopladas cogiendo un hierro de escuadra ó trozos de llanta acodillada para que se apoyen y sujeten las losas de la huella; generalmente se suprimen las tabicas.

FIN

FELIPE JIMENEZ LACAL

Instituto
Juan de Herrera
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE ARQUITECTURA DE MADRID